

Konstrukční návrh a porovnání temperančních systémů

Bc. Jiří Knot

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří KNOT**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Konstrukční návrh a porovnání temperačních systémů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vytvořte konstrukční návrhy temperačních systémů.
3. Porovnejte vytvořené návrhy temperačních systémů ve vhodné CAE aplikaci.
4. Proveďte zhodnocení konstrukčních návrhů a vyhodnoťte zjištěné výsledky.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Štěpán Šanda

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 20. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy a návrhem dvou temperačních systémů, kdy první temperační systém musí být vyrobitelný pomocí konvenčních technologií a druhý temperační systém technologií DMLS. V teoretické části byla popsána problematika vstřikování, návrh a možnosti konstrukce vstřikovacích forem se zaměřením na konstrukční řešení temperačních systémů. V praktické části byl vymodelován 3D model výrobku a 3D model vstřikovací formy se dvěma různými temperačními systémy v programu CATIA V5R18. Pomocí programu Moldflow Plastics Insight byly porovnány oba vytvořené temperační systémy.

Klíčová slova: Vstřikování, Chlazení, DMLS

ABSTRACT

My graduation thesis deals with the structural design of an injection mould and a scheme of two temperature systems, in which the first temperature system must be producible by the help of the traditional technology and the second temperature system must be producible by DMLS technology. In the first part, I start from the theoretic basis of the injection, design and possibilities of the construction of the injection moulds with a view to the structural solution of the temperature systems. The practical part includes a three-dimensional model of a product and a three-dimensional model of the injection mould with two different temperature systems realized in CATIA V5R17 programme. The two temperature systems were compared thanks to the Moldflow Plastics Inside programme.

Keywords: Injection, Cooling, DMLS

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří přispěli svými radami ke vzniku této diplomové práce. Zvláště bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Štěpánu Šandovi za odborné vedení, poskytnuté rady, za čas a pozornost, kterou mi ochotně věnoval při vypracování této diplomové práce.

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

Ve Zlíně

.....

BSAH

ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	13
1.2 VSTŘIKOVANÉ MATERIÁLY	14
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	15
2.1 PLASTIKACE HMOTY	16
2.2 TEPLOTA A VISKOZITA TAVENINY	17
2.3 PLNĚNÍ FORMY	17
2.4 VSTŘIKOVACÍ TLAK.....	18
2.5 DOTLAK	19
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	20
3.1 ŘEŠENÍ TVARU VÝROBKU	20
3.2 ZÁSADY TVAROVÉHO ŘEŠENÍ VÝROBKŮ Z PLASTŮ	22
3.2.1 Tloušťka stěny	22
3.2.2 Rovnoměrnost tloušťky stěny.....	22
3.2.3 Zaoblení.....	24
3.2.4 Úkosy	24
3.2.5 Ostré hrany	25
3.2.6 Výztužná žebra.....	25
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	26
4.1 KONSTRUKCE FOREM.....	26
4.1.1 Postup při konstrukci formy	27
4.1.2 Ekonomika výroby vstřikovací formy	27
4.1.3 Zaformování výstřiku	28
4.1.4 Volba násobnosti vstřikovací formy.....	29
4.2 VTOKOVÁ SOUSTAVA	30
4.2.1 Plný kuželový vtok.....	31
4.2.2 Bodový vtok	32
4.2.3 Boční vtok	33
4.2.4 Tunelový vtok	34
4.2.5 Filmový vtok	35
4.3 TEMPEROVÁNÍ FOREM	37
4.3.1 Charakteristika temperačního systému.....	38
4.3.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů.....	38
4.3.3 Temperační prostředky.....	42
4.3.4 Chlazení plochých součástí	43
4.3.5 Chlazení jader a kruhových součástí.....	46
4.3.6 Výroba temperačních kanálů.....	48

4.3.7	DMLS – Direkt Metal Laser Sintering.....	49
4.4	SMRŠTĚNÍ VÝROBKU	50
5	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST	53
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	54
7	POUŽITÝ SOFTWARE.....	55
7.1	CATIA V5R18	55
7.2	HASCO DAKO MODUL.....	55
7.3	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2010	55
8	CHARAKTERISTIKA VÝROBKU.....	56
8.1	MATERIÁL VÝROBKU.....	56
9	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	58
9.1	VOLBA NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
9.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝROBKU.....	60
9.3	V TOKOVÝ SYSTÉM.....	60
9.4	ODVZDUŠNĚNÍ.....	61
9.5	TEMPERACE.....	62
9.5.1	Temperace vyrobená konvenční metodou obrábění.....	62
9.5.2	Temperace vyrobená nekonvenční metodou obrábění	64
9.6	VYHOZENÍ VÝROBKU.....	66
9.7	ODLIŠNOSTI NÁVRHŮ.....	67
9.7.1	Forma s konvenčně vyrobeným temperačním systémem.....	68
9.7.2	Forma s nekonvenčně vyrobeným temperačním systémem	68
9.8	VSTŘIKOVACÍ STROJ	69
9.9	TEMPERAČNÍ JEDNOTKA	70
10	TOKOVÁ ANALÝZA.....	71
10.1	PROCESNÍ PODMÍNKY	71
10.2	VHODNOST UMÍSTĚNÍ VTOKU	72
10.3	ČAS PLNĚNÍ	73
10.4	CHOVÁNÍ TEMPERAČNÍHO MÉDIA	74
10.5	ÚČINNOST ODVODU TEPLA Z CHLADÍCÍHO OBVODU.....	75
10.5.1	Konvenční návrh	75
10.5.2	Nekonvenční návrh	76
10.6	OCHLAZENÍ VÝROBKU NA VYHAZOVACÍ TEPLITU	77
10.6.1	Konvenční návrh	77
10.6.2	Nekonvenční návrh	78

10.7	TEPLOTA VÝROBKU	79
10.8	TEPLOTA FORMY	80
10.8.1	Konvenční návrh	80
10.8.2	Nekonvenční návrh	81
10.9	CELKOVÉ DEFORMACE	82
10.10	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHŮ	85
10.10.1	Výpočet porovnání návrhů	86
	DISKUSE VÝSLEDKŮ	88
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK	97
	SEZNAM PŘÍLOH	98

ÚVOD

Plastické hmoty jsou významnými konstrukčními materiály pro své specifické vlastnosti. Plastové výrobky vyráběné vstřikováním mají nejrůznější tvary od jednoduchých až k velmi složitým a členitým. Počet tvarově složitých výrobků se postupně zvětšuje, jednak rozšiřováním aplikací plastů na technicky náročné výrobky, jednak zaváděním integrovaných vícefunkčních součástí výhodných z výrobně ekonomických důvodů. [5]

Z funkčního hlediska jsou plastové výrobky podrobeny různým nárokům. Nejčastěji to bývá požadavek určité pevnosti při namáhání statickým, dynamickým, krátkodobém, dlouhodobém, požadavek tuhosti, pružnosti apod. K tomu někdy přistupuje působení zvýšené teploty, mrazu, vlhkosti, povětrnosti, záření, chemikálií, elektrického napětí, a vyžaduje se dodržení požadovaných rozměrových tolerancí. Vzhledem k rozmanitým pracovním podmínkám jsou tedy rozdílné i požadavky kladené na používané materiály. [5]

Primární spotřeba výrobků s tenkými stěnami a malou hmotností, vyráběných vstřikováním, byla z počátku vyvolána převážně snahou po miniaturních konstrukcích s malou hmotností. Časem se projeví další výhody, které se zprvu jeví méně významné. Byly to především celkově nižší výrobní náklady, možnost rychlého navyšování produkce a vyšší kvalita technického řešení. Další výhodou bylo dosažení celkově nižší hmotnosti výrobku a snížení spotřeby materiálu, což souvisí i s náklady na výrobu. [14]

Abychom byly schopni vyrábět plastové díly v požadované kvalitě, potřebujeme k tomu kvalitní nástroj (formu). Kvalita a životnost vstřikovací formy je závislá na její konstrukci, materiálu a jeho tepelném zpracování, použité výrobní technologii, vhodném zacházení s formou a tuhostí. Materiál je do formy vstřikován většinou vysokým tlakem což klade nároky na tuhost vstřikovací formy. Tuhost vstřikovací formy je snížena vyhazovacím systémem, vtokovým systémem, temperačním systémem, odvzdušněním a dalšími dírami a zápichy, které jsou nutné pro správnou funkci. [10], [14]

Při výrobě funkčních součástí vstřikovací formy se v dnešní době používá konvenčních i nekonvenčních metod obrábění. Se zvyšující se tvarovou a rozměrovou náročností je nutné vyvíjet také nové výrobní technologie. Novinkou pro výrobu funkčních součástí, je tzv. metoda DMLS, která neodebírá materiál do požadovaného tvaru, ale naopak nanáší jednotlivé vrstvy až do požadovaného tvaru. To umožňuje výrobu velmi složitých součástí, jako jsou například tvarové části vstřikovací formy. [10]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je proces, při kterém se materiál obvykle ve formě granulí převádí v plastikační jednotce vstřikovacího stroje do plastického stavu a poté se vstřikuje do dutiny vstřikovací formy. V dutině vstřikovací formy dojde k ochlazení materiálu na vyhazovací teplotu a poté je výrobek vyhozen z formy pomocí vyhazovacího systému. [11]

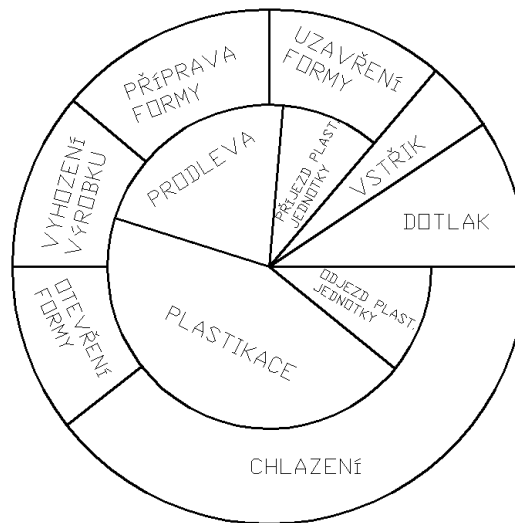
Vstřikování je jednou z hlavních operací při zpracování plastů. Vstřikování umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a dostatečně přesné výrobky z velkého množství zpracovávaných plastických hmot. [8]

Výhodami vstřikování je, že při pečlivém návržení formy můžeme eliminovat další opracování výrobků. Vtokové zbytky lze v případě termoplastů rozemlít a znovu zpracovat, čímž se ztráty polymeru sníží na minimum. Vstřikovací proces je velmi rychlý a vzniklý výrobek může být hned po vyjmutí z formy odeslán přímo ke spotřebiteli nebo jej lze použít ke kompletaci jiných zařízení. [8]

1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů, během něhož prochází plast teplotním cyklem. [1]

Materiál, většinou ve formě granulí, se nasype do zásobníku vstřikovacího stroje. Odtud přechází do tavicí komory vyhřívané pomocí topení, kde působením tepla přechází do plastického stavu a poté je vstříknut do dutiny formy. Po zaplnění dutiny formy působí na vstříknutý materiál tlak, tzv. dotlak. Doba, po kterou dotlak působí, je tzv. doba doplňování. Dotlak působí až do chvíle, kdy dojde k úplnému zatuhnutí vtokového ústí. Materiál zcela zaplní dutinu formy, čímž zaujme její tvar a po ochlazení na vyhazovací teplotu se forma v dělicí rovině otevře a výrobek je vyhozen pomocí vyhazovacího systému z dutiny formy. Poté se forma opět uzavře a celý cyklus se opakuje. Vstřikovací cyklus popisuje obrázek (*Obr. 1*). [17]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [15]

1.2 Vstřikované materiály

Plasty jako materiály jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, které mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami). Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy plastů. Nejčastěji vstřikujeme termoplasty. V menší míře se vstřikují reaktoplasty a gumárenské směsi. [16]:

- termoplasty mají řetězce přímé (lineární polymery) nebo nepřímé s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota se stává více viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochladnutí se dostanou řetězce opět do původního pevného stavu. Termoplasty lze opakovaně zpracovávat.
- reaktoplasty mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale řetězce se zcela neuvolní. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování (vytvrzení) plastu (někdy i působením katalyzátoru). Jakmile je chemický proces ukončen, další tváření již není možné.
- gumárenské směsi mají vlastnosti podobné jako reaktoplasty s tím rozdílem, že zesíťování (vulkanizace) je dosaženo přidáním vulkanizačního činidla. Vulkanizačními činidly mohou být síra, peroxid nebo oxidy kovů.

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

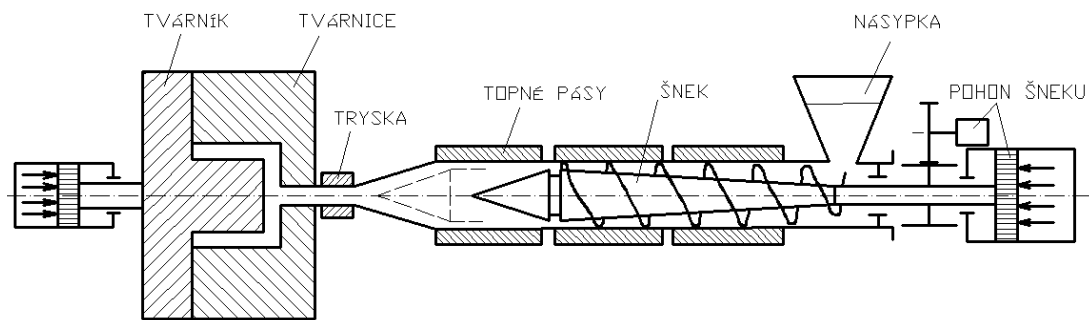
Základní princip vstřikování je patrný z obrázku (*Obr. 2*). Materiál je roztaven v tavicí komoře a tavenina je pomocí šneku vstříknuta do uzavřené formy. Po ztuhnutí taveniny na vyhazovací teplotu se forma otevře, výstřik se vyjme a stroj je připraven k další operaci. [8]

Základními parametry vstřikovacího stroje jsou [8]:

- Maximální vstřikovaný objem výstřiku v cm^3 , včetně vtokových zbytků, který lze vyrobit při jednom pracovním cyklu. Je dán součinem plochy čela šneku a jeho maximálního posunu.
- Vstřikovací kapacita stroje, udává maximální hmotnost výrobku v gramech.
- Plastikační kapacita stroje udává množství materiálu v kg, který lze na daném stroji převést na taveninu vyhovující kvality za 1 hodinu.
- Vstřikovací tlak je tlak, který je vyvolán čelem šneku na taveninu vstřikovaného materiálu.
- Uzavírací síla je síla potřebná k uzavření formy, aby nedocházelo k otírání dělicí roviny při vstřikování.
- Plocha upínacích desek, se udává z důvodu správné volby vstřikovacího stroje a funkce formy.
- Vzdálenost mezi vodícími sloupky, je důležitá pro volbu vstřikovacího stroje a správnou funkci formy.

Vstřikovací stroj musí splňovat tyto podmínky [1]:

- tuhost a pevnost v průběhu vstřikovacího cyklu;
- konstantní tlak, rychlost, teplotu a jiné parametry v čase;
- přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů.



Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje [1]

2.1 Plastikace hmoty

Plastické vstřikovací hmoty mají velmi malou tepelnou vodivost. Prohřátí tlustších vrstev materiálu je proto velmi obtížné a potřebuje delší čas plastikace. [4]

Důležitým požadavkem při ohřevu hmoty je použití malého tepelného spádu, aby se vrstva, která přijde do přímého styku s horkými stěnami válce a s plastikační vložkou, nepřehřála a nedošlo k degradaci hmoty. Tyto plastikační podmínky jsou v rozporu s požadavkem na tavicí mechanismus vstřikovacího stroje, kde je zapotřebí ve velmi krátkém časovém intervalu prohřát velké množství plastické hmoty. [4]

Účelem plastikace je roztavit granulový (případně práškový) materiál, homogenizovat ho a připravit pro vstříknutí do formy. Plastikace se provádí v tavicí komoře stroje, v němž je otočně a posuvně uložen plastikační šnek. Přívod tepla k roztavení granulátu se děje z jedné třetiny elektrickým topením tavicí komory a asi ze dvou třetin třením hmoty při hnětení šnekem. Při plastikaci se šnek otáčí a současně posouvá vzad, granulát padající z násypky mezi závity šneku se při tom dopravuje směrem k trysce, taví se, hněte, mísí, homogenizuje, komprimuje a shromažďuje se v prostoru před čelem šneku uvnitř komory. [5]

Je nutné udržovat teplotu taveniny, protože tato teplota přímo ovlivňuje viskozitu taveniny, velikost a průběh tlaku ve formě, dobu chladnutí výstřiku, stupeň orientace makromolekul aj., tím i vlastnosti a rozměry výstřiků v jednotlivých výrobních cyklech stroje. [5]

2.2 Teplota a viskozita taveniny

Teplota taveniny má přímý vliv na její viskozitu. Viskozita taveniny ovlivňuje podstatně hydraulické odpory ve vstřikovacím válci stroje i ve formě. Citlivá a přesná regulace vstřikovací teploty je základním technologickým požadavkem. Vstřikovací válce se obvykle vyhřívají odporovými elektrickými prstenci, které jsou rozděleny do několika samostatně regulovaných pásem. Reguluje se pomocí regulačních transformátorů, kontaktními, kapilárovými nebo magnetickými regulátory, které pracují s dostatečnou přesností. Ani velmi přesné systémy regulace teploty vstřikovacího válce se správně umístěnými čidly však neudávají skutečnou teplotu taveniny, ale jen průměrnou teplotu válce v určitém místě. Působí zde nepříznivě zpoždění, zaviněné nízkou tepelnou vodivostí oceli. Teplotu a tím i viskozitu taveniny lze proto nastavit jen podle údajů měřících přístrojů na tavícím válci jako její relativní hodnotu. [4]

U moderních vstřikovacích strojů s optimalizací procesu se pro zlepšení této situace zavádí programování průběhu zpětného tlaku šneku v každém cyklu, protože zpětný tlak určuje odpor proti hnětení materiálu a tím podstatně ovlivňuje vznik a velikost třecího tepla. Znamená to, že hydraulický protitlak, který musí šnek při zpětném plastikačním zdvihu překonávat, se během tohoto zdvihu mění podle nastaveného programu. Při nastavování programu je třeba vzít v úvahu, že při posuvu vzad se zkracuje účinná část šneku (délka šneku ve styku s granulátem), a proto musí být přívod tepla čili zpětný tlak zvyšován. Průběh zpětného tlaku se tedy programuje v závislosti na zpětné dráze šneku. [5]

Změnu přívodu tepla změnou intenzity elektrického topení tavící komory nelze provést vzhledem k velké tepelné setrvačnosti masivního ocelového válce a krátkým několikasekundovým výrobním cyklům. Proto se výkon elektrického topení reguluje vždy na konstantní hodnotu. [5]

2.3 Plnění formy

Účelem této fáze je dokonale naplnit tvarovou dutinu formy taveninou pod tlakem 50 až 200MPa, podle viskozity taveniny, členitosti a tloušťky stěn výrobku. Při vstřikování se šnek posunuje vpřed a jako píst vytlačí taveninu z válce skrz trysku do formy. [5]

Plnění dutiny vstřikovací formy musí být dostatečně rychlé, aby se zabránilo předčasnému chládnutí a tuhnutí hmoty. Vysoká vstřikovací rychlost má příznivý vliv na orientaci

makromolekul ve výrobku. V povrchových vrstvách je orientace sice mírně vyšší následkem zvýšeného smykového napětí, ale je podstatně menší v jádru průřezu, kde je následkem vyšší rychlosti nižší viskozita taveniny. Rychlost taveniny ve formě bývá okolo 100 až 200 m.s⁻¹. Nadměrná rychlost způsobuje přehřátí a tepelnou degradaci materiálu. [5]

Rychlost čela proudu taveniny ve formě má být v zásadě konstantní, aby se dosáhlo rovnoměrného a optimálního proudění s minimálními ztrátami. U jednoduchého výstřiku o stejné tloušťce stěny se vyžaduje přibližně konstantní rychlost posuvu šneku vpřed. Ale u výstřiků s rozdílnými průřezy je účelné měnit rychlost posuvu šneku během vstřikovací fáze, aby rychlost proudu taveniny byla aspoň přibližně stejná. Na začátku vstřiku nemá rychlost taveniny dosáhnout skokem vysoké hodnoty, nýbrž její růst má být plynulý, aby nevznikala velká povrchová orientace, vnitřní pnutí a viditelné tokové čáry. Kolem větších jader je lepší vyšší rychlost proudění, aby se omezil vznik studených spojů. Ke konci vstřiku je vhodné plynule zpomalit vstřikovací rychlost, aby mohl z formy uniknout vzduch a zabránilo se nadměrným tlakovým špičkám ve formě. [5]

Po naplnění všech tvarových dutin formy nastává stlačování hmoty. Tlak taveniny prudce stoupne a vstřikovací rychlost náhle klesne. Jestliže by tlak ovládací posuv šneku zůstal na původní vysoké hodnotě (tzv. vstřikovací tlak), vznikla by ve formě tlaková špička, která by způsobila zvýšenou hmotnost a zvětšené rozměry výstřiku. Také dochází k vysokému namáhání vstřikovací formy. Aby se zamezilo těmto nežádoucím jevům, je nutné v určitém okamžiku před dosažením tlakového maxima ve formě snížit vstřikovací tlak na tzv. dotlak. [5]

2.4 Vstřikovací tlak

Tlak ve formě je při vstřikování velmi důležitým činitelem. Tlak taveniny ve formě závisí na odporech ve vtokové soustavě a na odporech v dutině formy. Tvar výstřiku, délka vtoku taveniny a tloušťka stěny na výrobku jsou dalšími činiteli, kteří mají vliv na potřebný vstřikovací tlak. V praxi se vstřikovací tlak nastavuje individuálně při zkoušení formy a volí se co nejmenší. [4]

2.5 Dotlak

Účelem dotlaku je po ukončení vstříku dotlačovat další taveninu do formy a nahrazovat tak úbytek objemu způsobený smršťováním materiálu během chládnutí, aby ve výstřiku nevznikaly staženiny nebo povrchové propadliny. Dotlak má velký vliv na strukturu výrobku a časově se překrývá s fází chládnutí, protože dotlak působí do chvíle zamrznutí (zatumnutí) vtokového ústí. Velikost dotlaku a jeho trvání mají odpovídat postupu smršťování ve formě. Vyšší dotlak má za následek větší rozměry výstřiku a také vyšší stupeň orientace makromolekul v některých částech výrobku, neboť ve fázi dotlaku má již chladnoucí tavenina poměrně vysokou viskozitu. [5]

Dotlak má trvat do chvíle zamrznutí vtokového ústí, jímž se dotlačuje tavenina do formy. Je-li dotlak ukončen před ztuhnutím vtoku, vzniknou v tlustostěnných partiích výstřiku propadliny nebo dutiny, nastane-li zpětný tok materiálu z formy k trysce, může vzniknout nedotečený výrobek. Prodlužování dotlaku za okamžik ztuhnutí vtokového ústí je bezúčelné a zbytečně prodlužuje pracovní cyklus. [5]

U konvenčních pracovních strojů mívá dotlak jednu úroveň tlaku. Tlak taveniny ve formě při tom plynule klesá, protože s rostoucí viskozitou taveniny se zhoršuje přenos tlaku do formy. Naposled se při tomto dotlaku plní formy v okolí vtoku, a to taveninou již značně viskózní, takže v této oblasti vzniká vysoký stupeň orientace a sklon k pozdějšímu praskání (zvláště při vysokém dotlaku). [5]

U strojů s optimalizací procesu lze průběh dotlaku během pracovního cyklu programovat. V první fázi bývá dotlak vyšší, aby se forma rychle naplnila, dokud je tavenina dobře tekutá. Ke konci se dotlak sníží, aby se omezila orientace v okolí vtoku. Snižování dotlaku se programuje ve dvou nebo více stupních a má odpovídat podmínkám konkrétního výstřiku. [5]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Při navrhování součástí z plastů musí konstruktér volbou tvaru a materiálu součásti splnit požadavky, které jsou na součást kladeny. Tyto požadavky mají hledisko funkční, technologické a ekonomické. [9]

Z hlediska funkčního požadujeme od plastového výrobku obvykle určitou pevnost, tuhost, houževnatost, rozměrovou přesnost, chemickou odolnost, odolnost proti stárnutí, specifické elektrické vlastnosti aj.

Z hlediska technologického je třeba, aby se součást dala zvolenou technologií snadno vyrobit, aby její tvar odpovídal optimálním podmínkám toku materiálu ve formě, aby byl zvolen materiál pokud možno snadno zpracovatelný apod. [9]

Ekonomické hledisko zkoumá, zda by bylo pro daný účel možné použít levnější materiály. Použití levnějšího materiálu vede k výběru ekonomicky optimální technologie, předběžně zjišťuje úsporu pracnosti, výrobní náklady a posuzuje možnosti zvýšení užitné hodnoty výrobku. K ekonomickému hledisku také patří posouzení navrhovaného výrobku z hlediska prodejnosti, odbytu a tedy i vzhledu, i když u některých součástí, například u strojních součástí, může mít otázka vzhledu, popřípadě módnosti, zcela podřadnou důležitost. [9]

Při návrhu plastového výrobku je vysoce žádoucí týmová spolupráce konstruktéra výrobku, technologa, výtvarníka a ekonoma. [5]

Tváření plastů vstřikováním vyžaduje určité úpravy tvaru výrobku jako např. (úkosy, rádiusy, stejné tloušťky stěn, určité rozměry výztužných žebér aj.), aby se vlastnosti materiálu maximálně využily a nevnašela se do výrobku vnitřní pnutí, nevznikala vrubově citlivá místa, koncentrace napětí, povrchové propadliny aj. Tváření plastů umožňuje sdružovat jednoduché jednoúčelové součásti ve vícefunkční integrované součásti, kdy jedna složitá součást nahradí více jednoduchých součástí. To do určité míry snižuje při sériové výrobě pracnost, výrobní náklady a také náklady na výrobu forem. [9]

3.1 Řešení tvaru výrobku

Řešení tvaru plastového výrobku musí respektovat hlediska popsána v následujících odstavcích. [5]

Funkčnost tvaru zajišťuje plnění všech hlavních funkcí, které od výrobku požadujeme. Celosvětový vývoj směřuje k stále širšímu používání integrovaných vícefunkčních součástí z plastů. Každá taková součást plní hlavní funkci několika samostatných jednodušších součástí, původně obvykle kovových. Tím se dosáhne podstatného snížení celkových výrobních nákladů a úspory montážních prací. Integrované součásti jsou tvarově složitější než původní jednofunkční a jejich navrhování zvyšuje nároky na odbornou úroveň a tvůrčí představivost konstruktéra. [5]

Zajistit plnění všech hlavních funkcí po dobu obecně přijatelné životnosti plastového výrobku je nezbytným požadavkem, neboť porušení plastové součásti obvykle nelze opravit. Také působení slunečního světla a vlivy povětrnosti mají vliv na omezení životnosti, neboť způsobují zhoršení mechanických vlastností plastů. [5]

Zajištění funkčnosti tvaru předpokládá v mnoha případech provést pevnostní výpočet nového plastového výrobku, včetně řešení z hlediska silového toku. Je také nutné stanovit rozměrové tolerance, které musí být v souladu s chováním materiálu při provozu výrobku. Z hlediska optimálního silového toku je u mechanicky zatěžovaných výrobků nutné vyvarovat se vrubů způsobených silovou koncentrací napětí, aby nevznikaly složité stavy napjatosti a dbát na rovnoměrné rozdělení napjatosti ve všech nosných průřezech. Také je nutné omezit možnosti vzniku vnitřního pnutí a vyloučit vlastní deformace součástí. Extrémní napětí může vzniknout v některých detailech jinak málo namáhaných výrobků, jako jsou závěsná oka, úchyty, opěrné výstupky apod. [5]

Technologičnost tvaru u vstřikovaných výrobků znamená dodržovat zásadu co nejplynulejšího a nejrychlejšího naplnění formy taveninou, při němž dochází k prudkým změnám teploty a tlaku. Náhlé změny průřezu, ostré rohy a kouty, zářezy a otvory, to vše představuje překážky proudu toku taveniny, a ty mají za následek víření proudu, orientaci makromolekul, vnitřní pnutí, studené spoje, nerovnoměrné smrštění apod. Ideální jsou zaoblené tvary se stejnou tloušťkou stěny, pozvolnými změnami proudu toku atd. Složité tvary integrálních součástí ovšem zvyšují nároky na vlastní tvarové řešení výrobku i na technologii zpracování. Od konstruktéra se požaduje stále větší znalost procesu vstřikování a zejména plnění dutiny formy, od technologa se žádají kvalitní a přesné výrobky i u značně složitých tvarů. [5]

Výtvarně estetické řešení tvaru má být v souladu s funkcí výrobku, s prostředím, v němž bude používán, s materiálem a s technologií výroby. Proto je třeba aplikovat oblé tvary a plynulé přechody. Vstříkované plastové výrobky mají budit dojem lehkosti a ladnosti.

Ekonomičnost tvaru vyžaduje především jednoduchý tvar, aby vstříkovací forma byla levná, provozně spolehlivá a umožňovala automatickou výrobu. Z ekonomického hlediska závisí tvarové řešení rovněž na velikosti série, protože u malých sérií můžeme připustit i dodatečné opracování, zlevní-li to podstatně výrobní náklady formy. [5]

3.2 Zásady tvarového řešení výrobků z plastů

Při návrhu tvaru a rozměrů plastových součástí je nutné dodržovat zásady pro konstrukci plastových výrobků. [9]

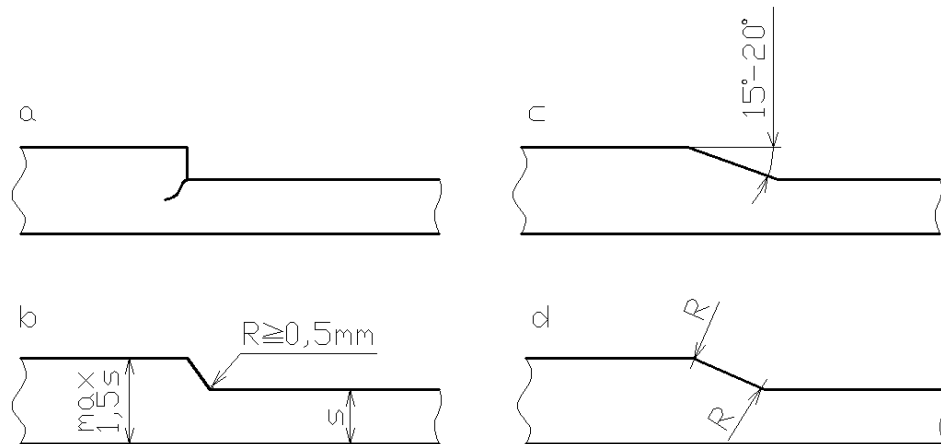
3.2.1 Tloušťka stěny

Tloušťka stěny má být co nejmenší, aby se omezily možnosti vzniku povrchových propadlin a vnitřních staženin (lunkrů, které zeslabují nosný průřez a mohou působit i jako vnitřní vruby), aby se zmenšil časový rozdíl mezi chladnutím povrchu a jádra stěny (zmenší se tím i vnitřní pnutí ve stěně), aby se snížila spotřeba materiálu a aby se zkrátila doba chládnutí ve formě (zvýšení produktivity). Minimální tloušťka stěny je určena požadovanou tuhostí, pevností a rozměrností výstřiku. [5]

3.2.2 Rovnoměrnost tloušťky stěny

Rovnoměrnost tloušťky stěny je podmínkou pro stejnou a rovnoměrnou rychlost proudu taveniny ve formě, stejnou rychlost chlazení ve všech místech výrobku, stejné smrštění a minimální vnitřní pnutí. U výstřiků s různou tloušťkou stěny vzniká víření taveniny, nerovnoměrná orientace makromolekul a větší vnitřní pnutí. Tlustší stěny chladnou pomaleji, a mají proto větší procento smrštění než tenké stěny. Následkem tohoto rozdílu smrštění vzniká v místě styku obou stěn (zvláště při náhlé změně průřezu) další vnitřní pnutí, případně deformace nebo praskání výrobku, někdy ihned po vstříknutí. Je-li nezbytné provést různou tloušťku stěn, pak přechod musí být pozvolný nebo zaoblený, aby nevznikaly ostré kouty s vrubovým účinkem. Různé přechody v tloušťce stěny jsou na obrázku (*Obr. 3*). Obrázek 3a ukazuje chybný ostrý přechod, kdy ve vnitřní hraně výstřiku vzniká velká koncentrace napětí a sklon k praskání. Obrázek 3b znázorňuje poněkud

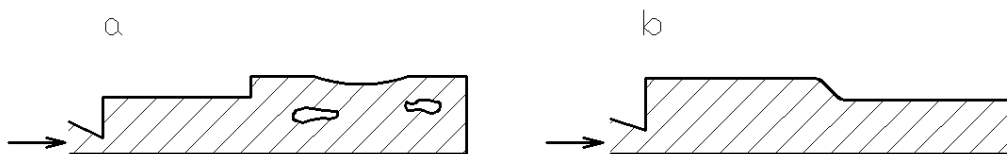
zlepšený, zaoblený přechod. Obrázek 3c uvádí dobrý pozvolný přechod a obrázek 3d nejlepší provedení tedy pozvolný a ještě zaoblený přechod. [5]



Obr. 3. Přechod v tloušťce stěny výrobku [5]

- a) nevhodný ostrý přechod, b) mírné zlepšení,
c) chybné řešení, d) správné řešení

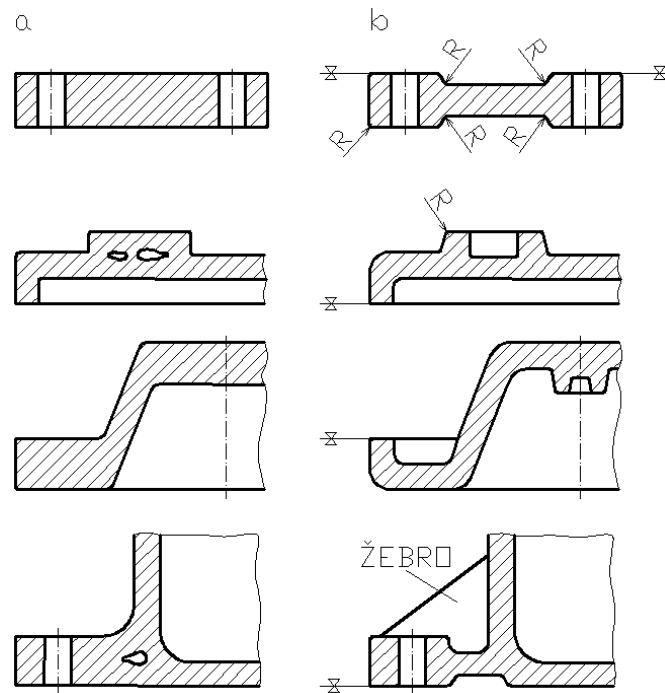
Na obrázku (Obr. 4) je zobrazeno špatné a správné umístění vtoku u výstřiku s různou tloušťkou stěny. Umístíme-li vtok do tenké stěny (obrázek 4a), ztuhne materiál v tenké stěně dříve než v tlusté, takže nelze již dotlačovat taveninu do pomalu chladnoucí tlusté stěny a nahrazovat tam objem materiálu zmenšující se tuhnutím. Výsledkem jsou vnitřní staženiny a povrchové propadliny v tlusté stěně. [5]



Obr. 4. Umístění vtoku do výstřiku s různou tloušťkou stěny [5]

- a) chybné řešení, b) správné řešení

Hromadění materiálu v některých částech výrobku má negativní vliv jako značně různá tloušťka stěny a je třeba se tomuto řešení vyvarovat. Chybná a správná řešení konstrukce výrobku jsou znázorněna na obrázku (Obr. 5). [5]



Obr. 5. Rovnoměrnost tloušťky stěny [5]

a) chybná řešení, b) správná řešení

3.2.3 Zaoblení

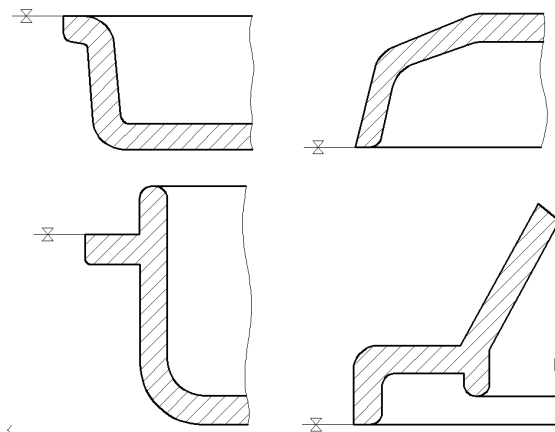
Oblé tvary jsou výhodné z hlediska snazšího proudění taveniny. Čím větší je rádius zaoblení, tím menší jsou odpory proti průtoku materiálu a tím je menší koncentrace v místě ohybu. Vnější rádius zaoblení stěny bývá o tloušťku stěny větší než vnitřní rádius, takže stěna je v celém průběhu zakřivení stejně tlustá. Někdy se z důvodu zesílení v místě zaoblení, společně se zvětšením vnitřního rádiusu, zvětšuje tloušťka stěny asi o jednu čtvrtinu. Minimální rádius zaoblení stěny má být asi jedna čtvrtina tloušťky stěny. V některých případech, např. při spojování dvou stěn, by však velký rádius znamenal nežádoucí hromadění materiálu, a používá se tedy zmíněné minimální hodnoty, kdy minimální rádius zaoblení stěny má být asi jedna čtvrtina tloušťky stěny. [5]

3.2.4 Úkoso

Pro snadnější vyjímání výrobků z formy, mají mít stěny výrobku, kolmé na směr otevírání formy, úkoso. Doporučené minimální úkoso jsou pro vnější stěny výstřiku $0,5^\circ$ až 1° , pro vnitřní stěny 1° až 2° . Větší úhly usnadňují spolehlivé vyhazování z formy, úhly menší, než doporučené minimální, se volí ve zvlášť zdůvodněných případech. [5]

3.2.5 Ostré hrany

Ostré hrany vnější se navrhují tam, kde stěna výstřiku končí v dělicí rovině formy, viz obrázek (Obr. 6). V běžných případech bývá úhel hrany 90° . Ve zvláštních případech, zdůvodněných funkcí výrobku, může být úhel menší. Menší úhel však nelze použít u křehkých materiálů. Ostatní vnější hrany mají být z bezpečnostních důvodů (nebezpečí říznutí) zaobleny rádiusem minimálně 0,3 mm. Vnitřní hrany se zaoblují vždy, a to rádiusem minimálně rovným jedné čtvrtině tloušťky stěny. [5]



Obr. 6. Přípustná provedení ostrých hran v dělicí rovině [5]

3.2.6 Výztužná žebra

Výztužná žebra mají probíhat ve směru toku taveniny a jejich rozměry tj. šířka u kořene, délka a výška, by měly být stanoveny tak, aby žebra plnila jak funkci výztuže, tak funkci technologickou. Šířka žebra u kořene by neměla překročit čtyři až šest desetin tloušťky stěny. Příliš tlustá žebra způsobují propadání materiálu na protilehlém povrchu, případně i deformace vlivem vnitřního pnutí a rozdílů ve smrštění. Technologická žebra se používají zejména u tenkostěnných výrobků s dlouhou drahou toku, kde se může stát, že tavenina ztuhne dříve, než vyplní dutinu formy. Technologická žebra usnadňují tečení taveniny, avšak jejich průběh nesmí vytvářet předpoklady pro uzavření vzduchu v dutině formy.[3]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Forma udává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměr výrobku, při zachování fyzikálních a mechanických vlastností [1]

Vstřikovací formy jsou často komplikovaná technická zařízení, která musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výstřiky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výstřiku a přitom musí většinou pracovat automaticky. [8]

Formy se skládají zpravidla ze dvou hlavních částí, z nichž jedna je upnuta na pevné straně vstřikovacího stroje a druhá na jeho pohyblivé straně. Část upnutá na pevné straně se obvykle nazývá tvárnice a její hlavní funkcí je zajištění přívodu taveniny do dutiny formy, a to pomocí vtokového systému. Část upnutá na pohyblivé straně vstřikovacího stroje se většinou nazývá tvárník a její hlavní funkcí je zajištění správného vyhození výrobku z dutiny formy pomocí vyhazovacího systému formy. Obě části nástroje pak současně zajišťují správnou teplotu výrobku před jeho vyjmutím z formy, a to pomocí systému temperačních rozvodů v každé části formy. [18]

4.1 Konstrukce forem

Výroba vstřikovaného dílu probíhá na vstřikovacím stroji ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku a teploty. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu, které spolu úzce souvisí. [1]

U formy se vyžaduje [1]:

- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku pro zachycení potřebných tlaků,
- správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vhodný temperační systém, vyhazovací systém, odvzdušnění apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem i výrobou.

Vyšší nároky na přesnost a jakost forem se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě. Větší robustnost forem, kterou vyžadují použité tlaky při vstřikování,

často svádí k méně citlivému zacházení. Formy jsou však velmi přesné nástroje a nešetrné zacházení snižuje jejich přesnost a životnost. [1]

4.1.1 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími doplňujícími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra forem. Vlastní konstrukce pak má následující postup [1]:

- Posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a výrobních podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny a lunkry. Nezanedbat ani úpravy ostrých hran a rohů, které vyvolávají velké pnutí a obtížné plnění dutiny.
- Určení dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled výrobku. Respektovat směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoku a vyhazování z dutiny formy.
- Dimenzování tvarových dutin. Volba vhodného typu vtokového systému jeho velikost průřezu, tvaru a délky.
- Stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy.
- Navržení rámu formy s ohledem na počet a rozmístění dutin, použitý vyhazovací a temperační systém formy.
- Vhodné uspořádání středících a upínacích částí formy.

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii a montáži. [1]

4.1.2 Ekonomika výroby vstřikovací formy

Hospodárnost výroby vstřikovacích forem při dosažení potřebné kvality a životnosti v daném termínu, tvoří základ pro jejich ekonomické posouzení. Technologická úroveň konstrukčního řešení a pečlivě vyrobená forma, se vstřikovacím strojem a používaným materiálem, dávají přesnost a kvalitu zhotoveným výrobkům. [10]

Požizovací cena formy má být co nejnižší. To znamená nízké výrobní náklady při vysoké produktivitě práce ve všech etapách realizace vstřikovací formy. Při vzájemné vazbě na využití forem, životnost a výrobní technologii lze ovlivnit i jejich cenu. [10]

Kvalita a životnost vstřikovací formy je závislá na její konstrukci, materiálu, jeho tepelném zpracování, použití výrobní technologie a vhodné zacházení s formou v provozu i ve výdejnách. Většina nástrojů má životnost vyšší, než je potřebná pro požadovaný počet výrobků. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně tak dochází ke značným škodám. Z těchto důvodů je nutné jejich konstrukci i další činitele podřídit optimálnímu využití. [10]

Výrobu menších sérií výrobků je možné realizovat ve formách, jejichž koncepce bývá zjednodušená. To znamená, že se často používá univerzálních rámců, které tvoří nosnou konstrukci pro více forem. Pro požadovaný výrobek se zhotoví jen vyměnitelné, případně seřiditelné tvarové vložky. Výroba se tím zjednoduší, umožní vyrobit vstřikovací formu v krátkém čase a při nižších nákladech. Přesnost zjednodušených forem bývá často nižší. I přes toto zjednodušení však stále musí splňovat podmínky bezpečné práce a požadované kvality výrobků. Pro větší série výrobků není vhodné koncepci formy zjednodušovat. [10]

Výběr materiálu vstřikovací formy ovlivňuje především funkci součástí, jejich otěruvzdornost, stálost rozměrů a životnost. Proto není nutné vždy vyrábět formu z nejkvalitnějších materiálů a s použitím nákladného příslušenství. [10]

Při hodnocení je třeba zvážit mimo kvalitu především ekonomické faktory. Tyto faktory jsou ovlivněny požadavkem odběratele. Nízká cena, krátký výrobní čas a dobrá kvalita nástroje jsou stálými hodnotami při realizaci vstřikovacích forem a výrobků z nich. [10]

4.1.3 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výrobku má usnadnit jeho vyhazování z dutiny vstřikovací formy. Vychází z konstrukčního řešení požadovaného výrobku a je důležité pro konstrukční řešení vstřikovací formy a její dělení na pevné a pohyblivé tvářecí části. V místě, kde se při uzavření formy navzájem dotýkají nebo na sebe dosedají tvářecí části, tj. v místě, kde se tvářecí dutina při otevření formy rozdělí, vzniká tzv. dělicí rovina. [3]

Dělicí rovina bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší

dělicí rovinu. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy proto je snahou se takovým tvarům vyhnout. [1]

Nepřesnost v dělicí rovině může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy. Proto je třeba, aby dělicí plocha [1]:

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

Pozitivní úlohu hraje dělicí rovina při odvzdušnění dutiny vstřikovací formy. [1]

4.1.4 Volba násobnosti vstřikovací formy

Násobnost vstřikovací formy se volí především podle požadovaného množství, složitosti, přesnosti, velikosti výrobku a dále podle typu stroje, který je k dispozici. Zásada, že pro malé výstřiky jsou vhodné malé vstřikovací stroje a naopak, má jen omezenou platnost a jen velmi pečlivá technická a ekonomická rozvaha určí správný výsledek násobnosti vstřikovací formy.[4]

Pro malé nebo ověřovací série volíme jednonásobné jednoduché formy s předpokladem minimálních nákladů na jejich výrobu. Jednonásobné formy se dále využívají u velkorozměrových výrobků a tvarově složitých výrobků, které vedou ke složitě vstřikovací formě. Z hlediska kvality a přesnosti výrobků je vhodné volit násobnost vstřikovací formy co nejmenší. Pro hromadnou výrobu je nutno vypracovat technický a ekonomický rozbor o volbě násobnosti vstřikovací formy. Přitom je třeba volit nejvhodnější konstrukci pro největší výkon formy, pokud možno bez potřeby dodatečného obrábění výstřiku. Při návrhu je nutno respektovat i ekonomii výroby vstřikovací formy. Ke stanovení optimální

násobnosti forem pro střední až hromadnou výrobu je nutno uvážit a porovnat několik ovlivňujících činitelů [4]:

- Celkovou spotřebu hmoty s podílem na její ztrátu ve vtokové soustavě (u vícenásobných forem spotřeba materiálu na vtokový zbytek roste vlivem prodlužování rozváděcích kanálů a jejich průřezu).
- Výrobní náklady na vstřikování neklesají lineárně se zvyšováním násobnosti formy, protože vstřikovací stroje pracují zpravidla pomaleji a vyžadují více pozornosti obsluhy. U větších strojů se také zvyšuje dílenská režie, jsou větší jejich pořizovací náklady a vyžadují větší pracovní prostor.
- Náklady na výrobu vstřikovací formy mají značný vliv na ekonomické hodnocení násobnosti. U hromadné výroby je tento podíl v ceně výrobku poměrně malý, u malé série výrobku je velký. Ekonomickou úvahu násobnosti vstřikovací formy současně ovlivňuje i životnost formy, která závisí na složitosti, na volbě materiálu pro tvářecí části formy atd.
- Volbu vstřikovacího stroje a jeho vliv na ekonomickou násobnost formy. Vypočtená váha výrobku s přídatkem na vtokový zbytek, násobená určenou násobností, udává celkovou váhu výrobku, podle níž volíme vstřikovací stroj.

4.2 Vtoková soustava

Při vstřikování termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled (lesk, vtokové čáry), vznik vnitřních dutin a povrchových propadlin apod. Tyto strukturální vlastnosti jsou však také ovlivněny technologickými podmínkami při vstřikování. [5]

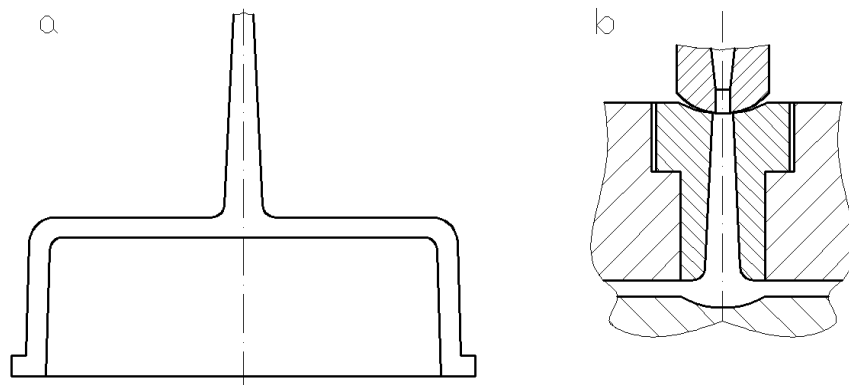
Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že se termoplast ohřátý v tavící komoře na poměrně vysokou teplotu vstřikuje velkou rychlostí do poměrně studené formy, přičemž stoupá viskozita na vnějším povrchu proudu taveniny. Nejmenší viskozita zůstává uprostřed (v jádru) průřezu tokových cest. Z toho vyplývá řada požadavků důležitých pro všechny druhy vtokových systémů. Požadavky na vtokové systémy jsou [3]:

- Dráha toku od vstřikovací trysky k dutinám vstřikovací formy má být co nejkratší, aby mohla být taveniny vstřikována co největší rychlostí.

- Dráha toku ke všem dutinám vstříkovací formy má být stejně dlouhá.
- Průřez vtokových kanálů (světlost) musí být dostatečně velký, aby byla jistota, že po naplnění formy zůstane jádro vtokového kanálu dostatečně dlouho v plastickém stavu a umožňovalo nahrazení úbytku objemu výstřiku vlivem jeho smrštění.
- Ústí vtoku má být umístěno tak, aby taveniny vtékala do nejtlustšího průřezu výstřiku a tekla směrem k nejtenčímu místu (pravidlo klínu). Výjimkou je vstříkování plastů s nadouvadly, kde volíme postup opačný.
- Pro přesné výstřiky jsou vhodné plné vtoky, které zabezpečují lepší působení dotlaku a tím umožňují doplňování dutiny formy vlivem smrštění.
- Ústí vtoku tj. přechod z rozváděcího kanálu k dutině formy, má být co nejkratší. Doporučuje se délka 0,5 až 1,2 mm.
- Výrobky tvaru dutého válce mají být pokud možno vstříkovány prstencovým nebo deštníkovým ústím vtoku, aby nedocházelo k deformaci tvaru (vzniku ovality).
- Dosedací plochy trysky vstříkovacího stroje a vtokové vložky spolu musí lícovat. Jsou-li kulovité, musí být poloměr koule na trysce o 0,4 až 0,6 mm menší než poloměr na vtokové vložce, otvory v nich musí být souosé a průměr otvoru v trysce musí být alespoň o 0,5 mm menší než průměr otvoru vtokové vložky.

4.2.1 Plný kuželový vtok

Plný kuželový vtok přivádí taveninu do tvarové dutiny formy bez zúženého vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem, pro rozměrné, tlustostěnné výrobky a je vhodný pro všechny druhy materiálů. Výhodou kuželového vtoku je malá tlaková ztráta, velmi účinné působení dotlaku, malá anizotropie smrštění a malé vnitřní pnutí ve výrobku. Nevýhodou je delší výrobní cyklus, obtížné oddělování vtoku od výrobku a nutnost vytvořit čokovité zahloubení proti ústí vtoku. [1], [5]

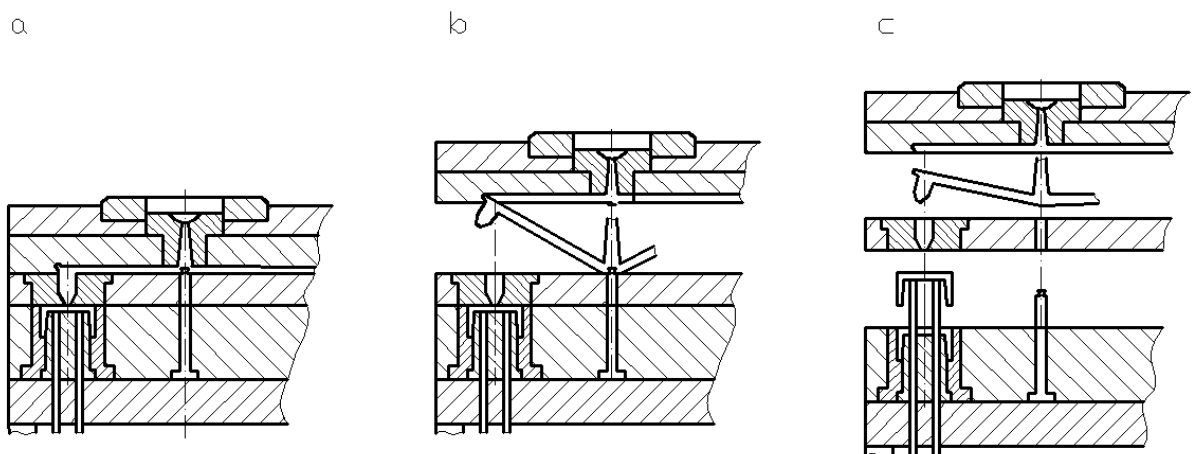


Obr. 7. Plný kuželový vtok [1]

a) výrobek s plným kuželovým vtokem, b) čočkovité zahloubení

4.2.2 Bodový vtok

Je nejznámější typ zúženého vtokového ústí, zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem (Obr. 8). U tohoto typu vtoku musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového ústí a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. [1]



Obr. 8. Způsob vyhazování vtoku a výrobku u třídeskové formy [1]

a) po vstříku, b) odtržení vtoku, c) vyhození vtoku a výrobku

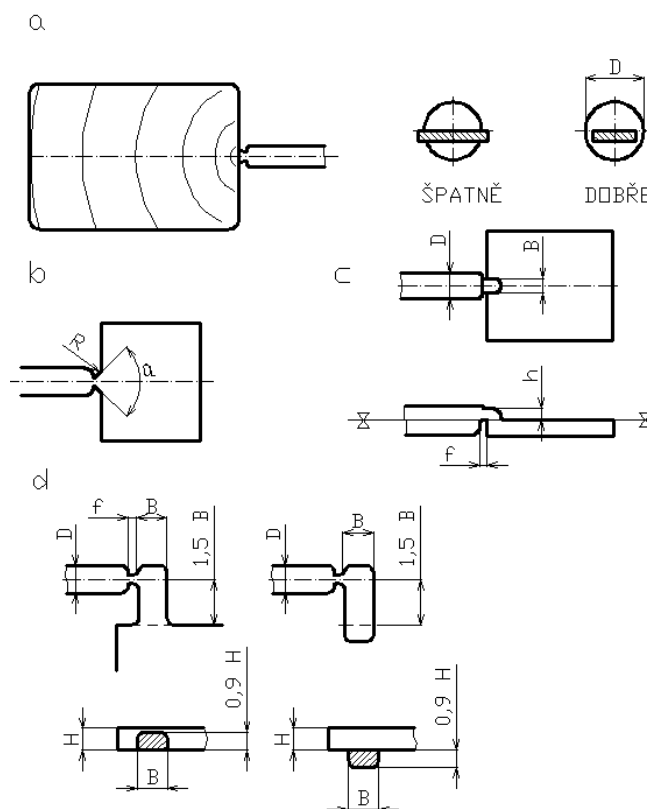
Ve zúženém místě dochází při odformování k odtržení vtokového zbytku od výstřiku. Utrhne se podle způsobu provedení ústí. U tenkostěnných výstřiků se nejužší místo volí

dále od výrobku, než je tomu u výrobků tlustostěnných, aby nedocházelo ke vzniku kráteru na výstřiku. [1]

Obdobně se řeší vtokové ústí u předkomůrky, kde při odformování musí být společně s výstřikem vytažen i všechn zbylý materiál z vtokového ústí. Abychom zabránili vytrhávání materiálu z výrobku, je nutné vytvořit čochkovité zahlobení proti ústí vtoku, které zlepšuje i plnění formy. Zdrsnění povrchu formy v oblasti zahlobení (pokud je přijatelné z hlediska funkce výstřiku) zamezí posun již částečně ztuhlých povrchových vrstev polymeru v oblasti většího smykového namáhání. U méně tekutých a plněných plastů pro větší výstřiky, se použití bodových ústí vtoků nedoporučuje. [1]

4.2.3 Boční vtok

U bočního vtoku je zúžené vtokové ústí, které leží v dělicí rovině. Průřez bývá obvykle obdélníkový, ale může být i jiný (kruhový, lichoběžníkový). Tvarové řešení bočních vtoků je znázorněno na obrázku (Obr. 9). [1]



Obr. 9. Boční vtok [1]

- a) typický boční vtok, b) vějířový vtok, c) s překyvem,
d) nepřímé vtoky

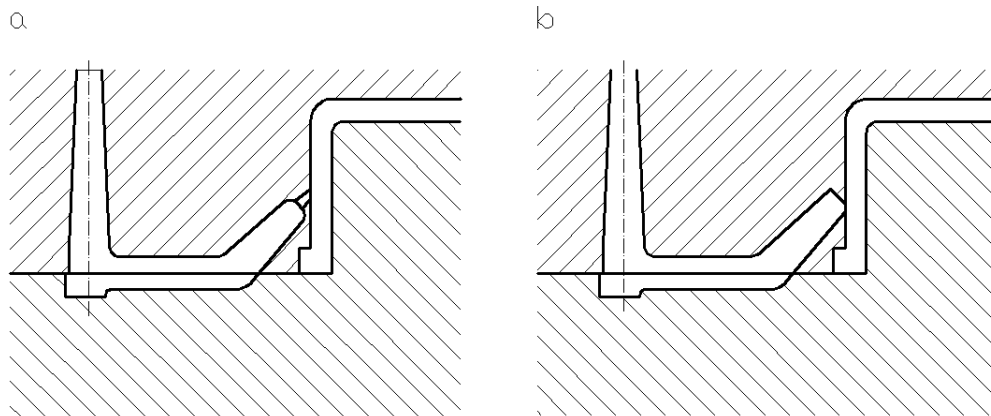
Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Při automatickém cyklu se řeší oddělování zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průtokového průřezu. V tomto místě pak dochází ke zvýšení teploty taveniny. Pokud nedojde ke zvýšení teploty taveniny, dochází k horšímu plnění dutiny formy, případně vznikají na výstřiku povrchové vady. [1]

Pro zlepšení, ale především zamezení volnému vstřikování taveniny do dutiny formy se ústí upraví do tvaru vějíře (obr. 9b) nebo se používá bočních vtoků s překrytím (obr. 9c). Při výrobě takového vtokového ústí může dojít k poškození tvárnice a stopa po vtoku zůstává na spodní straně výstřiku. U aplikací, které vylučují vznik oblasti velkých vnitřních pnutí, se používá nepřímých vtoků (optické prvky, mechanicky silně namáhané výrobky). Vtokové ústí je umístěno do nálitku, který se případně odstraní obráběním. Orientace ústí kolmo k nálitku napomáhá rovnoměrnému plnění dutiny formy bez zabezpečení volného vstřikování do taveniny (obr. 9d). [1]

4.2.4 Tunelový vtok

Tunelový vtok se používá především u vícenásobných forem pro výrobu malých součástí, které mohou být plněny ze strany. U forem s tunelovým vtokem se používá většinou jedna dělicí rovina, která je ovládána automaticky. Vstřikovaná součást a rozváděcí kanály jsou v kontaktu s dělicí rovinou. Rozváděcí kanály jsou umístěny v dělicí rovině, ale do dutiny formy již vstupují pod úhlem (*Obr. 10*). Rozváděcí kanál je ukončen kuželovou dírou a pod úhlem je propojena s dutinou vstřikovací formy. Část rozváděcího kanálu pod úhlem je vedena skrz tvárnici. Díky vzniklé hraně vytvořené propojením rozváděcích kanálů s dutinou formy přes tvárnici dojde při otevírání formy k oddělení vtokového systému od výrobku, který zůstává na tvárníku. Existují dvě možné podoby pro tunelový vtok (*obr. 10a, 10b*). V prvním případě, je vtokové ústí bodové, v druhém případě vzniká elipsovité ústí vtoku. Elipsovité ústí vtoku zamrzá pomaleji, tím umožňuje delší a účinnější působení dotlaku a je výrobně méně nákladné. Aby mohl být výrobek z formy vyhozen, musí být vtokový systém a výrobek zaformován tak, aby při otevření formy zůstal v pohyblivé části vstřikovací formy. Síly, které jsou vyvozené smrštěním výrobku na tvárník tedy musí být větší, jak pevnost materiálu ve vtokovém ústí, aby došlo k přestřižení výrobku od vtoku. Nebo je nutné použití přidržovačů. [6]

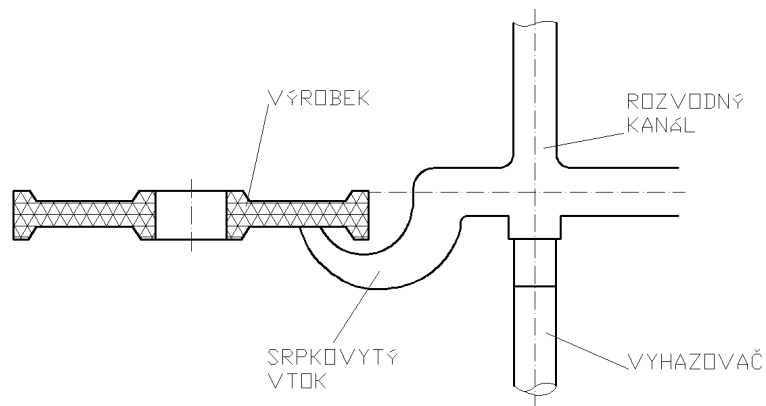
Tunelový vtok vyžaduje použití materiálů s dostatečnou elasticitou. Proto se obtížně aplikují u křehkých materiálů. Tunelový vtok je vhodný pro výrobu tenkostěnných výrobků bez viditelné stopy po vtoku na jeho vzhledové části. [1]



Obr. 10. Tunelový vtok [6]

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve které nepůsobí rušivě. Srpkovitý vtok je vhodný pouze pro materiály s vysokou elasticitou. Typické provedení i jeho funkce je znázorněna na obrázku (Obr. 11).

[1]

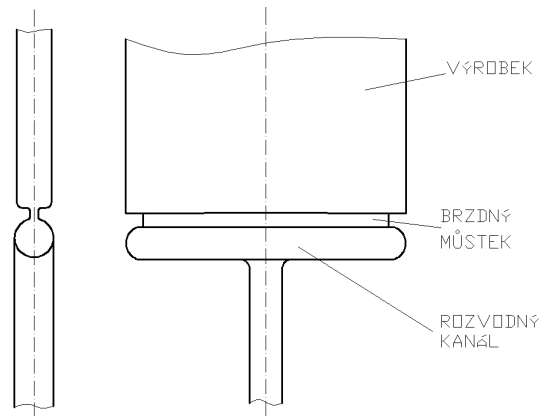


Obr. 11. Srpkovitý vtok [6]

4.2.5 Filmový vtok

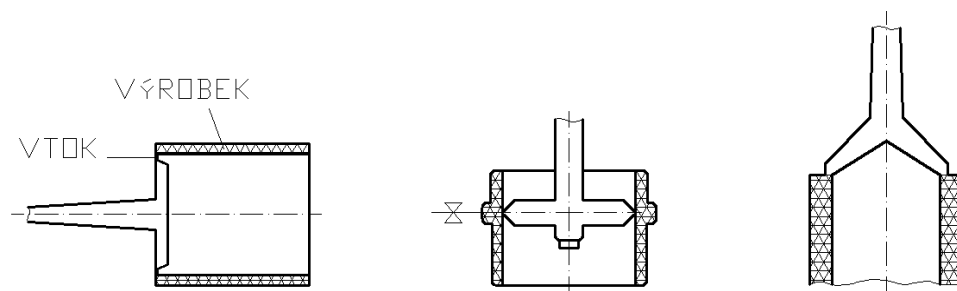
Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí a používá se hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Dle použitého tvaru se dělí na filmový, diskový a prstencový. [1]

Filmový vtok – je vhodný především pro ploché součásti o velkých rozměrech. Výrobky vyrobené za použití filmového vtoku mají velmi dobrou rozměrovou stabilitu, protože plnění dutiny je rovnoměrné. Filmový vtok se tedy používá u výrobků, kde vyžadujeme rozměrovou přesnost a vyšší kvalitu. [7]



Obr. 12. Filmový vtok [7]

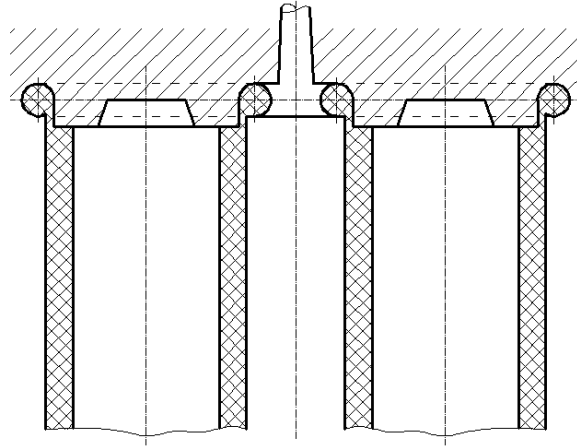
Diskový vtok – Diskový vtok umožňuje jednotné plnění celého válcového průřezu (rukávu). Disk může být kruhového nebo kuželovitého tvaru (deštníkový vtok). Úhel u kuželovitého tvaru bývá většinou kolem 90° a tím rovnoměrně rozděluje materiál po průřezu. Výhodou diskového vtoku je rovnoměrné plnění po průřezu. To zamezuje vzniku studených spojů a zaručuje dobrou rozměrovou stabilitu. [6]



Obr. 13. Diskový vtok [6]

Prstencový vtok – používá se především pro kruhové výrobky. Tavenina z rozváděcího kanálu vstupuje do prstencovitého kanálu. Prstencovitý kanál je spojen s výrobkem pomocí úzkého průřezu, který slouží jako brzdny můstek. Proto se taveninou nejprve vyplní prstencový kanál a pak tavenina rovnoměrně vstupuje do výrobku přes tzv. brzdny můstek. [6]

Prstencový vtok umožňuje formování dlouhých válcových částí, kdy délka ku průměru může být v poměru větším jak 5/1. Rozměry prstencovitého kanálu závisí na druhu zpracovávaného materiálu, velikosti výrobku a na délce toku. [6]



Obr. 14. Prstencový vtok [6]

4.3 Temperování forem

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části. [2]

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí polymeru. Při každém vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést pomocí temperační soustavy formy. [2]

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy (např. PC až 100, 120 °C). V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší než je ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívát. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiků. Proto je úkolem temperace [2]:

- Zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální hodnotě po celém povrchu její dutiny (podle druhu zpracovávaného plastu).

- Odvést teplo z dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku.

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

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

4.3.1 Charakteristika temperačního systému

Ohřívání, případně ochlazování (temperování) vstřikovací formy na předepsanou teplotu záleží na energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy odvádí (přivádí) především temperačním systémem. Projeví se ztráty tepla z formy vedením do upínacích ploch vstřikovacího stroje, dále odvodem tepla okolním vzduchem a také vyzářením do okolí. [2]

Teplota formy a tím také dutiny formy není během vstřikování konstantní. Po vstřiku teplota formy nejprve stoupá vlivem přivedené taveniny a poté klesá v důsledku odvodu tepla temperačním systémem. Kolísání teplot má být co nejmenší. Proto je nutné optimalizovat temperační proces. To znamená volit správně velikost a rozmístění temperačních kanálů, druh, rychlost a teplotu temperačního média. [2]

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované hodnotě. U forem pro zpracování plastů o vyšší teplotě, se používá pro ohřev většinou elektrického vytápění.

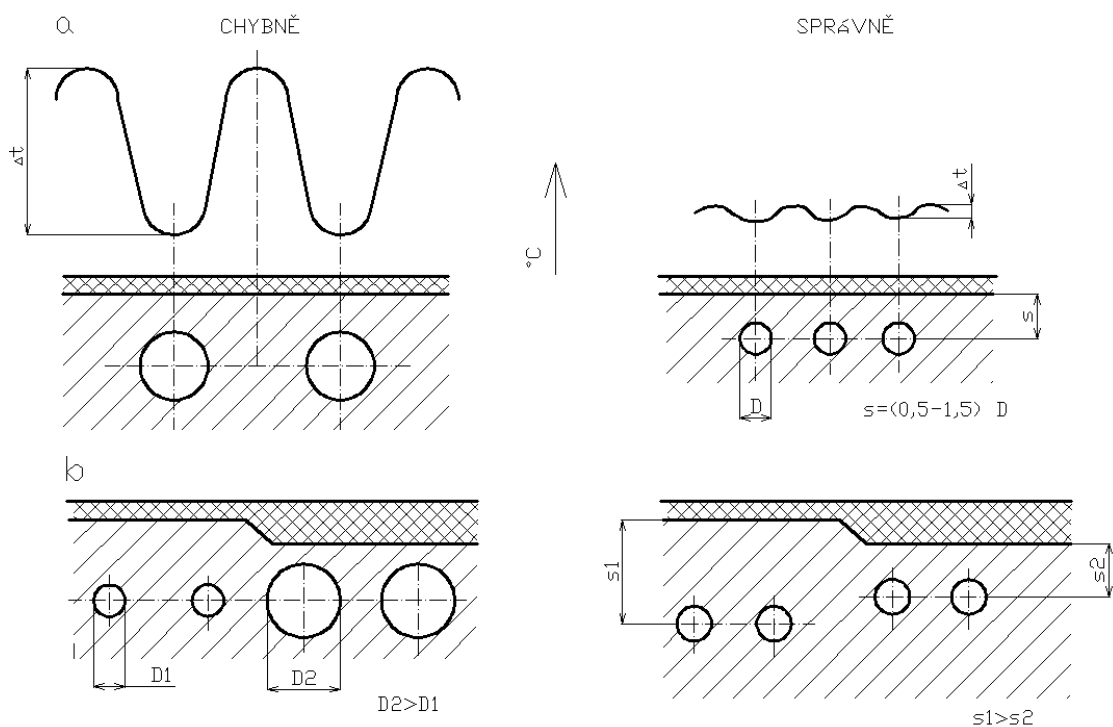
Temperační systém bývá umístěn v pevné i pohyblivé části vstřikovací formy. Každý z okruhů se může řešit zvlášť, podle způsobu zaformování výrobku i ostatních konstrukčních a technologických podmínek. [2]

4.3.2 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se přivádí nebo odvádí teplo z formy vhodnou temperační kapalinou, nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkové řešení formy. Vzdálenost temperačního kanálu od funkční dutiny formy má být optimální tzn., že

musíme dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo přestupující z formy do temperačního média, nebo naopak. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než menší počet kanálů s velkými roztečemi. Důvodem je nerovnoměrné rozložení teploty v chlazené části, jak je patrné z obrázku (Obr. 15). [2]

Kolem dutiny formy se kanály rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy, čímž se zvýší chladicí účinek (Obr. 15b). [2]



Obr. 15. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2]

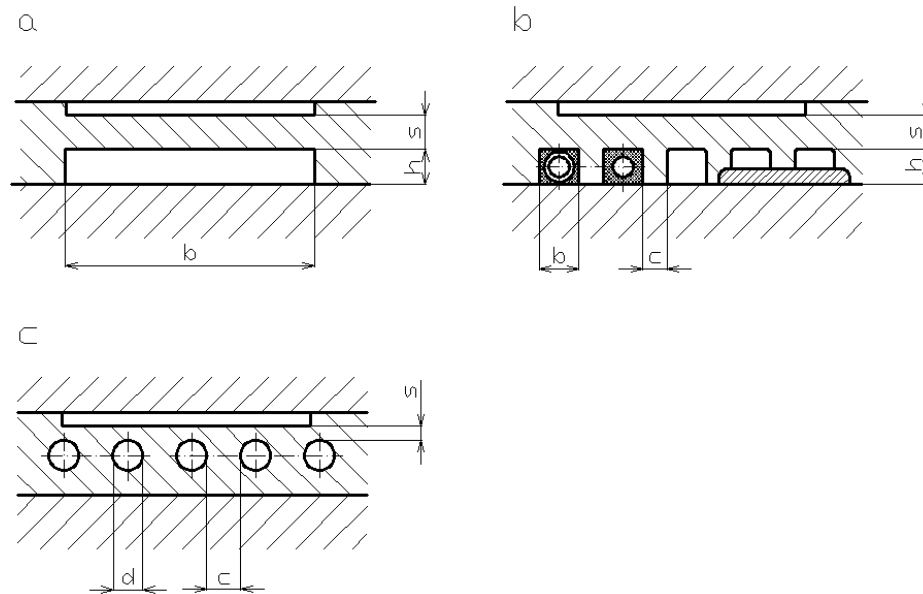
a) Vliv rozmístění kanálů na průběh teploty povrchu tvárnice

b) Chlazení výrobku o různé tloušťce stěny

Průřez kanálu se volí podle velikosti výstřiku, druhu zpracovávaného materiálu a tuhosti rámu formy. Nejběžnější a také nejvhodnější je průřez kruhový. Nejmenší průměr kanálu se volí 6 mm. Pokud však konstrukce vstřikovací formy neumožňuje použít tak velký průměr je možné volit i menší průměry. Ty však jsou méně vhodné z důvodu údržby a proudění chladicího média. Průměr temperačního kanálu se nemá zbytečně zvětšovat, protože intenzita výměny tepla se zvýší jen minimálně. Zvětšováním průměru stoupá

spotřeba množství temperačního média a klesá tuhost formy. Proto je vhodný průměr volen převážně ze zkušeností konstruktéra. [2]

Vedle kruhových kanálů se používají také kanály s obdélníkovým průřezem (frézované drážky). Ty se utěsní, nebo se do nich mohou vložit tenkostěnné měděné trubky. Pro dobrý tepelný styk se zalijí nízkotavitelným kovem (Sn, Zn apod.), viz obrázek (Obr. 16). [2]



Obr. 16. Používané průřezy temperačních kanálů [2]

a) obdélníkový, b) obdélníkový s různými úpravami c) kruhové

Při volbě temperačního systému je třeba dodržet tyto pravidla [2]:

- Kanály umístit v optimální vzdálenosti od tvarové dutiny, při zachování její dostatečné tuhosti.
- Kanály umístit a dimenzovat tak, aby teplo bylo intenzivně odváděno z míst, kde je forma ve styku s proudem vstříkované taveniny (u vtoku).
- Průtok chladicí kapaliny regulovat tak, aby při chlazení proudila od nejteplejšího k chladnějšímu místu formy. U ohřevu naopak.
- Průřez kanálů volit z výrobních důvodů kruhový. Je však možné volit i jiný průřez
- Rozmístit kanály s ohledem na tvar výstřiku.
- Kanály mají procházet celistvým materiálem formy. Pokud to není možné je nutné stykové body utěsnit.

- Vyvarovat se mrtvým koutům v temperačním systému, protože jsou důsledkem usazování nečistot a vzniká zde koroze.
- Kanály se většinou neumísťují v blízkosti hran výrobku.
- Průměr kanálu nemá být menší než 6 mm, jinak hrozí nebezpečí ucpání nečistotami, vodním kamenem apod. Menší kanály vyžadují použití upravené vody. Vysoké účinnosti temperačních systémů se dosáhne pasivací stěn kanálů, pravidelným čištěním a použitím nerezavějících materiálů. Před vstupem do úzkých temperačních kanálů by měl být použit filtr.
- Kanály konstruovat tak, aby se jednotlivé větve daly propojit hadicemi různým způsobem a pořadím.
- Směr proudící kapaliny se volí s přihlédnutím k možné rozdílné rychlosti odvodu tepla z různých míst. Chladná kapalina se má přivádět do nejteplejších míst dutiny formy. Tím se využije největší teplotní spád. Zvýšenou účinnost chlazení je nutné zajistit v blízkosti horkých ústí vtoku a v oblasti trysky.

Součinitel přestupu tepla závisí na kvalitě povrchu kanálu. Účinnost přestupu tepla je snížena usazováním nečistot, vodním kamenem a rží. [2]

Výkon temperačního okruhu lze zvýšit [2]:

- Zvětšením rozdílu teploty formy a temperačního média.
- Vytvořením podmínek pro zvětšení přestupu a prostupu tepla, vzdálenosti temperačních kanálů od líce formy, vznikem turbulentního proudění, použitím materiálu s větší tepelnou vodivostí λ apod.
- Zapojení zvláštní větve chlazení.

V praxi se stále ve velké míře navrhuje temperační systémy na základě zkušeností konstruktéra. Takto provedené návrhy jsou dobré, ale u složitějších případů málokdy optimální. S rozvojem výpočetní techniky se stále více používají simulační programy, které poskytují lepší sledování tepelného děje ve formě. Dobře navržený temperační systém má vliv na kvalitu i produktivitu výroby výrobků. [2]

4.3.3 Temperační prostředky

Temperační prostředky jsou média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních tepelných podmínkách. Rozdělují se na [16]:

- aktivní, které působí přímo na formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí
- pasivní, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy

Volba temperačních prostředků je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby vstříků. Používají se ve vzájemné vazbě.

Aktivní temperační prostředky představují [16]:

- kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály vytvořenými uvnitř formy. K přestupu tepla dochází mezi formou a kapalinou. Výhodou kapalin je vysoký přestup tepla, nízká cena a nízká viskozita. Nevýhodou je použitelnost do určité teploty, která záleží na vlastnostech kapaliny a také usazování vodního kamene.
- vzduch se používá buď jako volné proudění (při odvodu tepla z povrchu formy a při chlazení tvarových částí po dobu otevření formy), nebo nucené proudění působením tlaku či podtlaku. Vzhledem ke své malé účinnosti se chlazení vzduchem používá tam, kde není dostatek místa pro chlazení kapalinou. Vzduchem se chladí tenké tvárníky, jádra apod. Vzduch má menší koeficient přestupu tepla než kapaliny, ale je možné používat jej i za vyšší teploty.
- topné elektrické články se využívají především k temperaci forem s požadovanou vyšší teplotou v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstříkovaným plastem.

Pasivní temperační prostředky představují [16]:

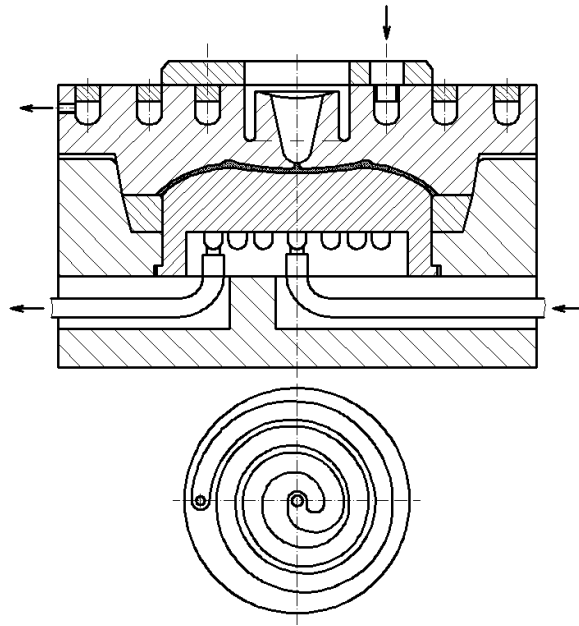
- tepelně izolační materiály. Využívají se především pro omezení přestupu tepla do upínacích desek vstříkovacího stroje a to v případech, kdy požadujeme vysokou teplotu formy. Pro omezení ztrát tepla vyzařováním se vnější část upínacích desek formy tepelně izoluje.
- tepelně vodivé materiály. Využívají se k odvodu respektive přívodu tepla z míst obtížně temperovatelných (tenké tvárníky, vtokové trysky) do míst, kde lze již

odvod, respektive přívod, tepla zajistit obvyklým způsobem. K výrobě obtížně temperovatelných součástí se používá materiálů jako je např. měď a její slitiny s Be, Co, Zr, Cd, Sn, nebo hliník a jeho slitiny. Použití těchto materiálů je omezeno jejich vlastnostmi (pevnost, tvrdost, korozní odolnost, otěruvzdornost, rozměrová stabilita apod.).

- tepelná trubice. Zařízení, které umožňuje intenzivní přenos látky z oblasti o vyšší teplotě do oblasti o nižší teplotě i při malém rozdílu teplot. Trubice je uzavřena zátkami na obou stranách a je částečně naplněna vhodnou teplonosnou látkou. Při ohřevu jedné části trubice teplem ze zdroje se teplonosné medium vypařuje a přitom odebírá značné množství tepla. Vzniklé páry proudí vnitřním evakuovaným prostorem trubice do opačné chlazené části, kde kondenzují. Při kondenzaci je předáváno výparné teplo chladnějšímu prostředí. Vypařování a kondenzace probíhá i při malém rozdílu teplot. Pro uzavření pracovního cyklu se musí zajistit nepřetržitý vratný tok zkondenzovaného teplonosného media z chlazené do ohřívající části trubice. Tepelné trubice se dělí na gravitační, rotační a kapilární. U gravitačních se přemísťuje náplň trubice působením zemské tíže. Rotační tepelné trubice využívají odstředivých sil. Kapilární jsou nejuniverzálnější, protože mohou pracovat v jakékoliv poloze. Kapilární tlak zajišťuje vhodná kapilární soustava (jemné drážky, vrstvy drátěné tkaniny aj.).

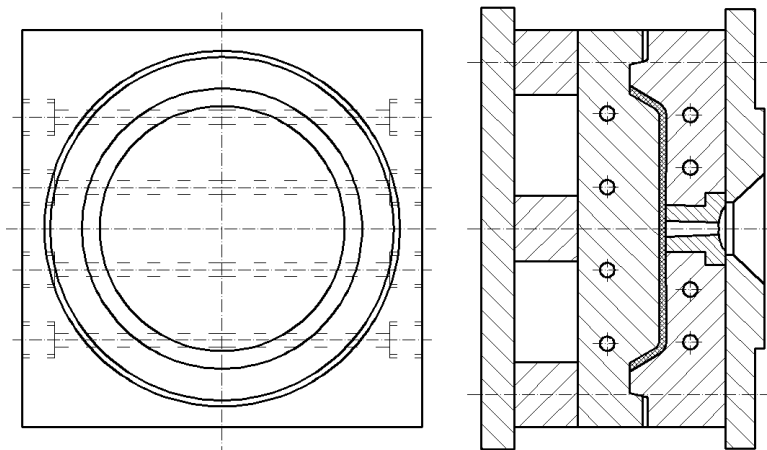
4.3.4 Chlazení plochých součástí

Pro součásti kruhového průřezu se v praxi velmi často používá chlazení pomocí spirály (*Obr. 17*). Chladicí kapalina vstupuje do středu spirály a postupně prochází spirálou až k okraji odkud je zase odvedena. S výhodou se používá u kruhových výrobků, kde temperační kapalina vstupuje do středu spirály, a pokud je vtok umístěn do středu výrobku, dochází k ideálnímu odvodu tepla od středu a poté intenzita postupně klesá. Výroba temperačního systému pomocí spirály je většinou dražší než výroba temperačního systému pomocí vrtaných kanálů, ale používá se u tvarově přesných dílů, protože chlazení je rovnoměrné a tím nedochází ke vzniku deformací na výrobku. [6]



Obr. 17. Chlazení spirálou [6]

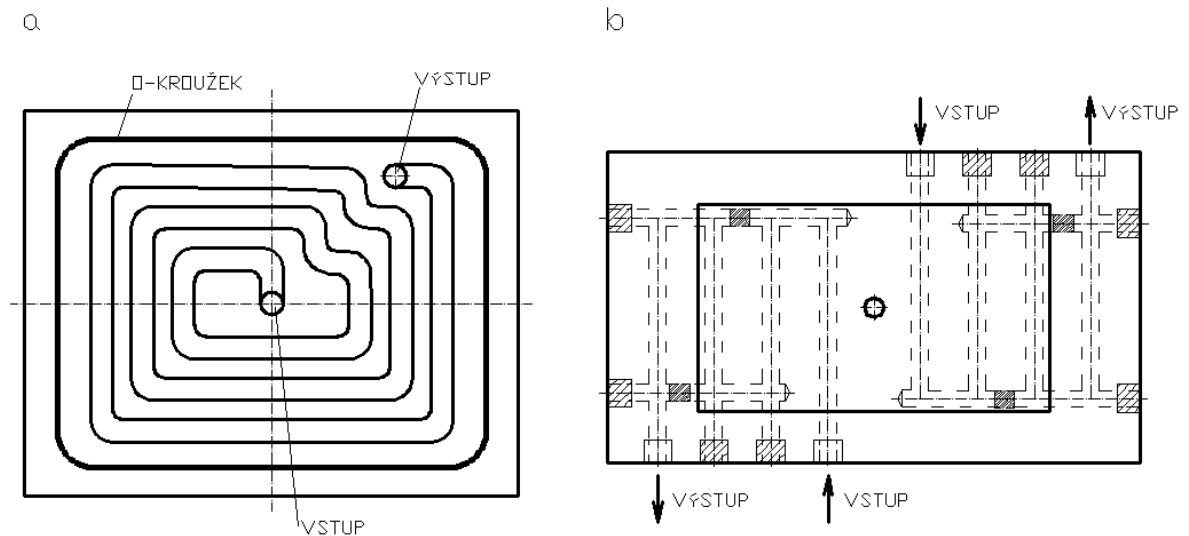
Z ekonomických a časových důvodů se často kruhové součásti chladí pomocí přímých vrtaných kanálů. Jak je patrné z obrázku (Obr. 18), chlazení pomocí vrtaných kanálů neumožňuje rovnoměrné chlazení výrobku. To způsobuje vnitřní pnutí ve výrobku, deformace a rozměrovou nestabilitu výrobků. Proto by se chlazení pomocí vrtaných kanálů mělo používat jen pro výrobky obdélníkového tvaru nikoli tvaru kruhového. [6]



Obr. 18. Chlazení vrtanými kanály [6]

Další způsob chlazení plochých součástí je uveden na obrázku (Obr. 19a). Chladicí kanál je frézován do desky a tímto kanálem je dopravována temperační kapalina od středu k okraji. Tento systém je vhodný pro součásti plněné do středu součásti, protože v tomto

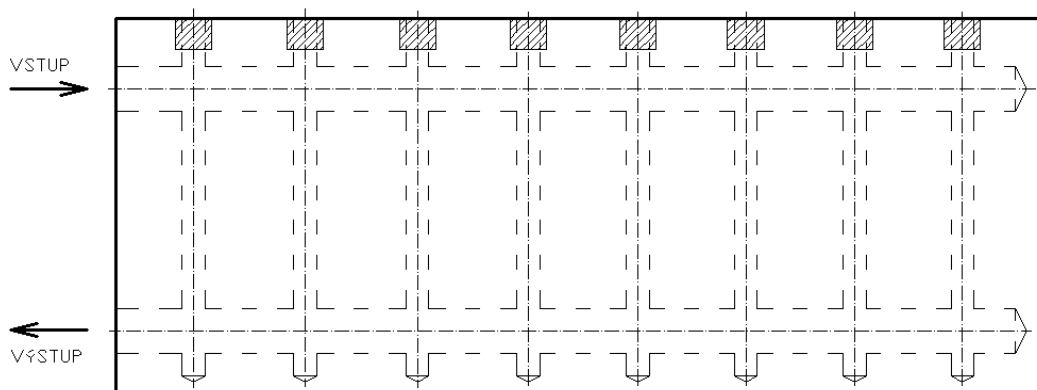
místě dochází k nejlepšímu odvodu tepla. Tímto způsobem je možné rovnoměrně chladit obdélníkové nebo čtvercové součásti, které vyžadují dobré rozměrové vlastnosti. Velmi podobný systém chlazení je znázorněn na obrázku (Obr. 19b). Tento chladicí systém je tvořen soustavou vrtaných kanálů a tok chladicího média je určen pomocí vnějších či vnitřních záslepek, které kanál v požadovaném úseku přeruší a utěsní. Oba temperační systémy jsou si svou účinností velmi podobné. [6]



Obr. 19. Další možnosti chlazení plochých součástí [6]

a) pomocí frézovaných kanálů, b) vrtanými kanály se záslepkami

Při chlazení vícenásobných forem, kdy vyžadujeme stejné technologické podmínky výroby, musíme zajistit stejné podmínky chlazení pro všechny součásti pomocí tzv. paralelního zapojení (Obr. 20) nebo tzv. sériového zapojení chladicího systému. [6], [13]



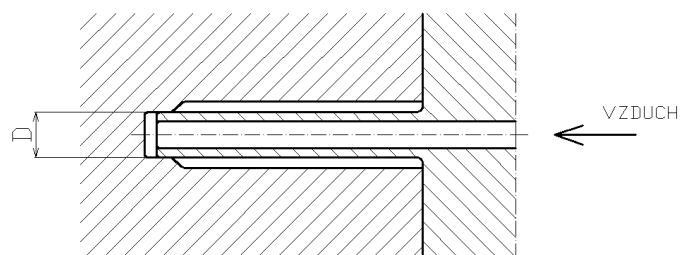
Obr. 20. Paralelní chlazení [12]

4.3.5 Chlazení jader a kruhových součástí

Prizpůsobení a zajištění tepelného toku ve formě může být velmi obtížné zejména v kritických úsecích, jimiž mohou být štíhlá jádra, místa obtížně přístupná pro přívod chladicího média aj. Pokud tato kritická místa ponecháme bez zvláštního chlazení, a bude docházet k chlazení jen od formy, prodlouží se nám značně výrobní cyklus. Prodloužení výrobního cyklu znamená zvýšení ekonomické náročnosti vstříkovací formy. Proto je nutné chladit i štíhlá jádra a obtížně přístupná místa. [6]

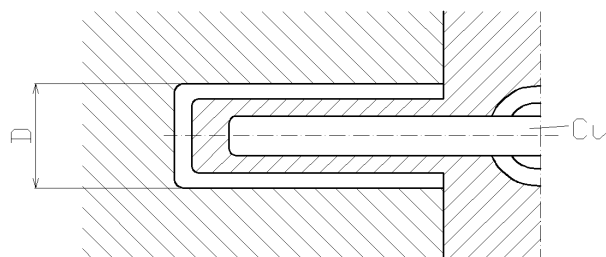
Vzhledem k již zmíněnému prodloužení výrobního cyklu může vést nechlazené jádro také ke zhoršení kvality výrobků, protože nedochází k rovnoměrnému chlazení. Nerovnoměrné chlazení způsobuje vnitřní pnutí, deformace a výrobek nemá rozměrovou stálost. [6]

Jádra o průměru, jehož hodnota je větší nebo rovna 3 mm je možné chladit pomocí vzduchu. Ohřátý vzduch je z formy odváděn převážně při otevření formy, ale také vůlí mezi jednotlivými součástmi vstříkovací formy. Tento konstrukční návrh (Obr. 21) neumožňuje udržení přesné teploty formy. [6]



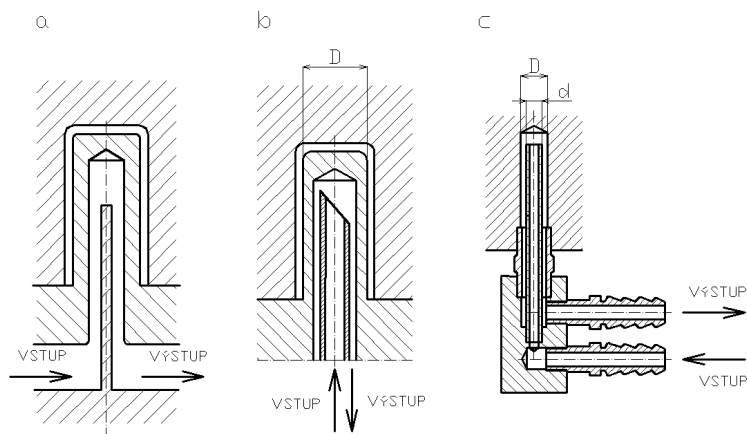
Obr. 21. Chlazení jader pomocí vzduchu [6]

Lepší chlazení štíhlých jader, jejichž průměr má hodnotu 5 mm a větší, je provedeno pomocí vložek vyrobených z materiálů, které mají velkou tepelnou vodivost (např. měď). Vložka je nalisována do dutiny formy (Obr. 22). [6]



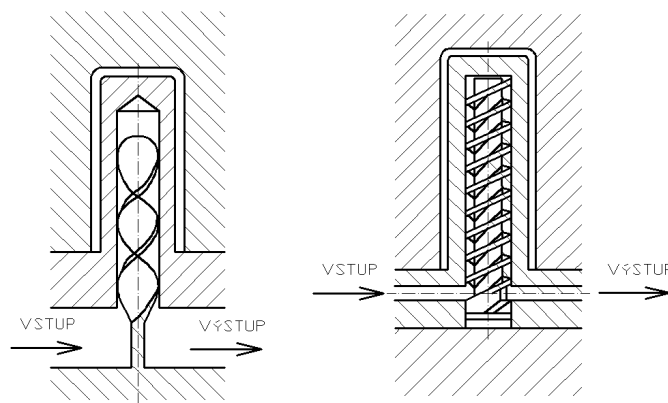
Obr. 22. Chlazení jádra pomocí Cu vložky [6]

Nejúčinnější chlazení štíhlých jader je dosaženo pomocí přepážek. Chladicí médium vstupuje jádrem do slepé díry a poté mezikružím, které je vytvořeno jádrem a chlazenou částí vystupuje ven (Obr. 23a,b). Průměry pro vstup a výstup chladicího média musí být vyrobeny tak, aby odpor v toku obou průřezů byl stejný. Nejmenší možný průměr zaručující bezchybnou funkci je 1,5 mm. Chladicí médium musí být speciálně upraveno, aby nedošlo k zanesení. Do průměru 4 mm by mělo být jádro na konci zkoseno pro zvětšení průřezu výstupu. [6]



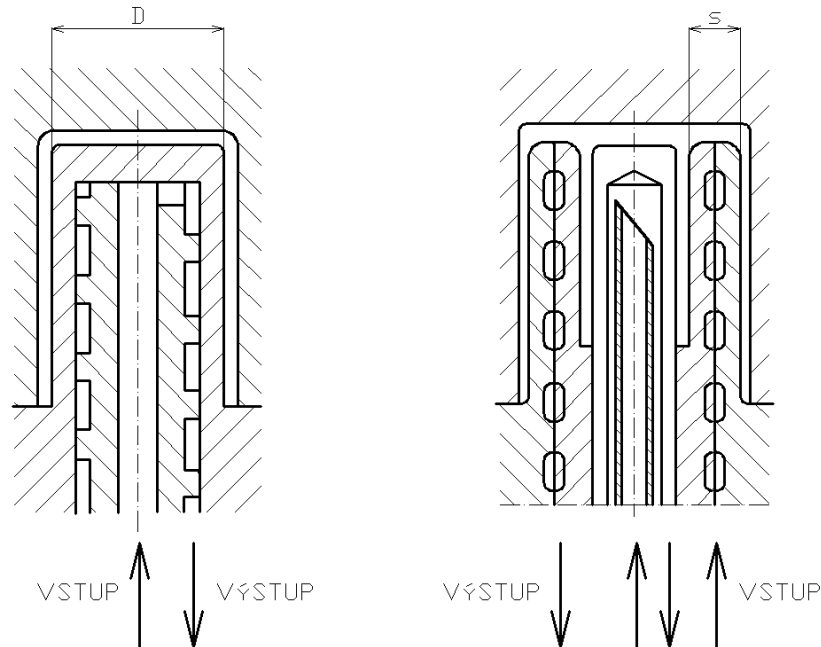
Obr. 23. Chlazení pomocí přepážek [6]

Další způsob chlazení štíhlých jader je na obrázku (Obr. 23c). Temperační médium vstupuje do slepé díry, která je dělena přepážkou. Tato metoda umožňuje maximální využití plochy pro přestup tepla. Konstrukčně náročné je umístit přepážku přesně do středu díry což způsobuje nerovnoměrné chlazení. Tomu se však dá vyhnout při použití spirálových trnů (Obr. 24).



Obr. 24. Chlazení pomocí spirálových trnů [6]

Chlazení jader nad průměr 40 mm by pomocí přepážek bylo neekonomické pro velkou spotřebu chladicího média. Chlazení velkých jader a tvárníků může být konstrukčně provedeno kombinací zmíněných možností (Obr. 25). [6]



Obr. 25. Chlazení jader velkých průměrů [6]

4.3.6 Výroba temperačních kanálů

U vstřikovacích forem jsou dnes běžně používány vrtané nebo frézované chladicí kanály. Zajištění optimálního chlazení dutiny formy je často velmi obtížné nejen s ohledem na tvarovou složitost dutiny formy, ale často se v prostoru potřebném pro vedení chladicích kanálů nachází např. vyhazovače nebo výsuvné vložky, kterým se musí dráha chladicích kanálů vyhnout. Chladicí soustava je tedy kombinací přímých kanálů, kde často není možné sledovat tvarovou zakřivenost dutiny formy. Výsledné řešení není často ideální. Řešením je použití DMLS technologie (Direct Metal Laser Sintering), která nabízí velké možnosti při návrhu chladicí soustavy z hlediska tvaru i umístění kanálů. Pokud chladicí kanály přesně kopírují tvar dutiny vstřikovací formy, hovoříme o tzv. konformním chlazení. Takto vyrobené chladicí kanály poskytují rovnoměrnější rozložení teploty v dutině formy a rychlejší chlazení popřípadě ohřev. Pomocí konformního chlazení lze dosáhnout zlepšení odvodu tepla z dutiny formy a tím zlepšení rozměrové stability výrobku. [19]

4.3.7 DMLS – Direkt Metal Laser Sintering

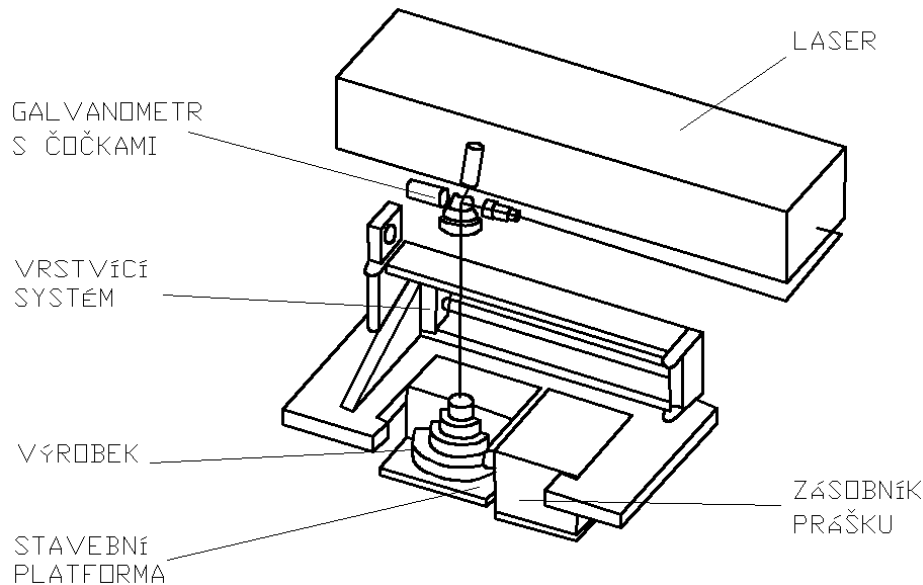
Jedná se o revoluční technologii umožňující vyrobit plně funkční kovové díly přímo z 3D CAD dat, přičemž odpadá investice do výrobních nástrojů a technologií, což přináší značnou úsporu nákladů a času. Kovové díly vyrobené technologií DMLS jsou z hlediska mechanických vlastností plně srovnatelné s obráběnými či odlévanými díly. [20]

Rozsah aplikací DMLS technologie je velmi široký od prototypů, přes malosériové díly až po finální individualizované výrobky. Výhody procesu rostou s tvarovou komplexností dílů. Čím je geometrie výrobku složitější, co do tvaru a četnosti výskytu detailních prvků, tím je technologie DMLS ekonomicky efektivnější. [20]

DMLS je technologie založená na postupném tavení velmi jemných vrstev kovového prášku pomocí laserového paprsku. 3D CAD model výrobku je nejprve rozdělen na jednotlivé vrstvy, díl je pak stavěn vrstvu po vrstvě. Energie laserového paprsku lokálně taví kovový prášek pouze v konturách řezu, který je definován průnikem dané roviny (vrstvy) tělesem (3D CAD modelem) výrobku. V průběhu stavby dílu je nezbytná fixace správné polohy dílu pomocí podpůrné struktury, která je ukotvena k základní ocelové platformě. Podpůrné prvky jsou stavěny, vrstvu po vrstvě, zároveň s výrobkem. Minimální tloušťka vrstvy je 20 mikronů. Laser důkladně taví kov ve formě prášku a tím je zajištěno dokonalé spojení jednotlivých vrstev. Laserový paprsek je přesně řízen v x a y souřadnicích, osa z je řízena posunem platformy o 20 mikronů při změně vrstvy, což umožňuje dodržení tvarových tolerancí v rozmezí ± 0.1 mm. Pracovní prostory umožňují výrobu dílů malé až střední velikosti v rozmezí několika hodin či dnů oproti dnům až týdnům při využití tradičních technologií. Po spuštění procesu zařízení pracuje v plně automatickém režimu 24 hodin denně. Po skončení výrobního procesu je platforma s výrobky vyjmuta z pracovního prostoru zařízení a díly jsou odděleny od platformy. [20]

Dokončovací operace jsou nezbytnou součástí výrobního procesu. Nejprve je nutno odstranit podpůrné struktury z povrchu výrobku, povrch lze dále tryskat, brousit, leštit či obrábět stejným způsobem, jako klasický kovový materiál. Principiální výhodou přímé výroby kovových dílů pomocí DMLS procesu je fakt, že odpadá potřeba výrobního nářadí (forem, lisovacích nástrojů atd.). Nespotřebovaný prášek je z 98% znova využíván pro výrobu, to znamená, že proces je ekonomický a zároveň ekologický. DMLS umožňuje vytvářet vnější i vnitřní tvary součástí, což v důsledku přináší možnost přímé výroby

tvarově komplexních dílů, které by dříve bylo nezbytné z technologických důvodů vyrobit z několika součástí. Je zde určitý potenciál úspory výrobních nákladů, zkrácení doby kompletace a zvýšení spolehlivosti. DMLS proces umožňuje aplikovat drobné konstrukční variace pro každý jednotlivý díl, tzn. výrobu produktů optimalizovaných dle individuálních požadavků zákazníka. [20]



Obr. 26. Schéma technologie DMLS [20]

4.4 Smrštění výrobku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se v procentech. Velikost smrštění závisí na teplotní roztažnosti použitého materiálu a dalších činitelích. [1]

Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost provozního smrštění se stanoví 24 hodin po výrobě a představuje až 90% z celkové hodnoty smrštění. Trvání dodatečného smrštění závisí na použitém materiálu. Smrštění je ve formě urychleno teplotami vstřikovací formy. [1]

Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná, ale liší ve směru toku polymeru a kolmo na směr toku polymeru. Velikost smrštění je ovlivněna [1]:

- Použitým materiálem.

- Tvarem výrobku.
- Technologií vstřikování.
- Vstřikovací formou (vtokovou a temperační soustavou).

Odhad hodnot smrštění, případně jejich korekce, pro přesné výrobky je obtížné. Proto je nutné u přesných výrobků dimenzovat rozměry dutiny tak, aby bylo možné je případně opravit. Většinou jsou hodnoty smrštění udávány výrobcem daného polymeru. [1]

5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část je rozdělena na čtyři kapitoly. V první kapitole je popsána technologie vstřikování, vstřikovací cyklus a materiály používané u vstřikování. Vstřikovací cyklus popisuje sled přesně po sobě jdoucích operací při vstřikování.

Druhá kapitola se zabývá vstřikovacím strojem, jeho funkcí a požadavky, které jsou na stroj kladeny. Dále je v této kapitole popsána problematika vstřikovacího procesu, aby si konstruktér výrobku mohl udělat představu o jeho složitosti a podstatném vlivu na vlastnosti výrobku. V jednotlivých podkapitolách jsou popsány vlivy struktury na vlastnosti výrobku, zejména vliv orientace, dostatečné krystalizace a vnitřního pnutí, a stručně byl objasněn i jejich vznik při proudění a chladnutí taveniny ve formě i další vlivy, které mají vliv na utváření struktury ve výrobku.

Třetí kapitola popisuje konstrukci vstřikovaných výrobků. Řešení tvaru výrobku je posuzováno z hlediska konstrukčního, technologického a ekonomického. Jednotlivá hlediska jsou podrobně popsána. Také jsou zde popsány zásady tvarového řešení (rovnoměrnost tloušťky stěny, zaoblení, úkosy, ostré hrany, výztužná žebra), které jsou důležité pro správnou funkci a kvalitu výrobku.

Čtvrtá kapitola popisuje vstřikovací formu a postup při konstrukci formy z hlediska konstrukčního a ekonomického. Popsány jsou možné způsoby zaformování výrobku a násobnosti vstřikovací formy, dále možné způsoby konstrukce vtokového systému. Nakonec byly popsány různé způsoby temperace vstřikovacích forem.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární rešerši na dané téma
- vymodelovat 3D model zadaného plastového dílu
- vymodelovat sestavu vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek s temperačním systémem, který je vyrobitelný konvenčními metodami obrábění
- vymodelovat sestavu vstřikovací formy pro zadaný plastový výrobek s temperačním systémem, který je vyroben nekonvenčními metodami obrábění
- nakreslit 2D sestavy vstřikovacích forem včetně výrobních výkresů vyráběných dílů
- porovnat temperační systémy ve vhodné CAE aplikaci
- zhodnocení konstrukčních návrhů a vyhodnocení zjištěných výsledků

V teoretické části je popsána problematika vstřikování, konstrukce vstřikovaných výrobků a konstrukce vstřikovací formy. V teoretické části jsou také popsány možnosti temperace výhody, nevýhody a možnosti jednotlivých temperačních systémů.

V praktické části je vymodelován 3D model výrobku. Pro zadaný výrobek jsou navrženy vstřikovací formy, z nichž první vstřikovací forma má temperační systém vyroben pomocí konvenčních metod obrábění a druhá vstřikovací forma má temperační systém vyroben nekonvenční metodou obrábění tzv. metodou DMLS. Metoda DMLS je popsána v teoretické části (4.3.7). Z 3D modelů vstřikovacích forem jsou vytvořeny 2D sestavy a výrobní výkresy vyráběných dílů.

Navržené vstřikovací formy s odlišnými temperační systémy jsou porovnány v programu Autodesk Moldflow Insight 2010. Funkčnost vstřikovacích forem je doložena tokovou analýzou a podle zjištěných výsledků jsou vyhodnoceny vlastnosti navržených vstřikovacích forem. Obě vstřikovací formy jsou doloženy ekonomickou analýzou.

7 POUŽITÝ SOFTWARE

Aby mohla být konstrukce vstřikovací formy realizována, je nutné doložit výkresovou dokumentaci. Podle výkresové dokumentace jsou vyrobeny jednotlivé komponenty. Vyrobene komponenty spolu s normalizovanými díly po montáži vytvoří požadovaný vstřikovací nástroj. Před výrobou vstřikovací formy je možné vytvořit simulaci vstřikovacího procesu, čím můžeme ověřit správnou funkci, nebo zlepšit vstřikovací cyklus a tím kvalitu výrobku. Software při správném používání zkvalitňuje a zrychluje výrobu. Simulační programy mohou odhalit nesprávnou funkci vstřikovací formy ještě před výrobou.

7.1 Catia V5R18

Program Catia V5R18 byl využit k vytvoření modelu zadaného plastového výrobku a ke zhotovení 3D modelu vstřikovací formy. Velkou výhodou tohoto programu je velmi snadný a rychlý přechod ze 3D do 2D. V programu byla vyhotovena výkresová dokumentace nutná k výrobě jednotlivých dílů, ale také sestava vstřikovací formy, která je nutná k montáži.

7.2 HASCO DAKO Modul

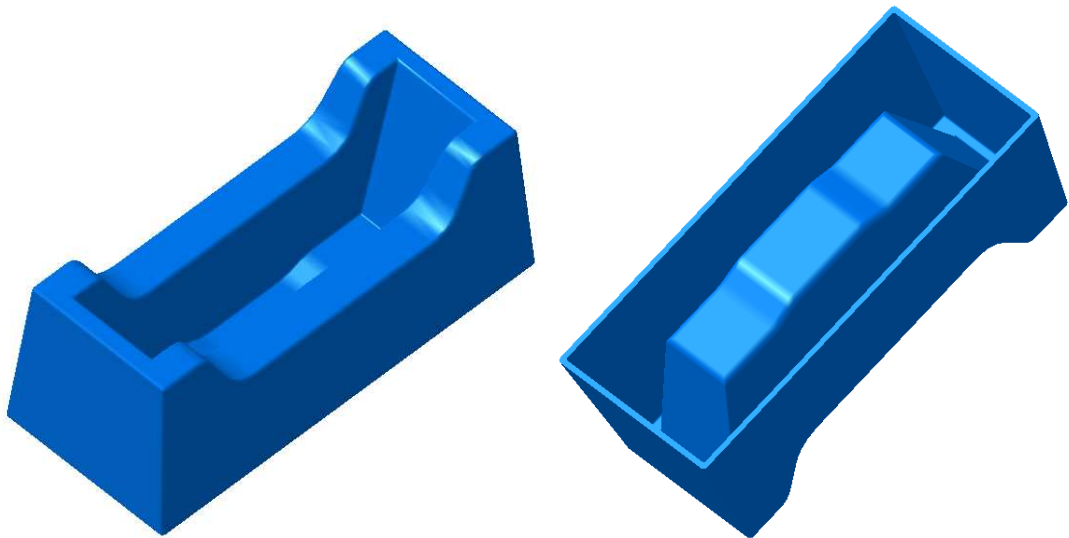
Jedná se o knihovnu typizovaných součástí firmy Hasco. V knihovně tohoto programu si vybereme požadovaný typizovaný díl, který je možné přímo vložit do programu Catia V5R18. Vkládání typizovaných součástí přímo z knihovny usnadňuje a zrychluje vytváření 3D modelu. Normalizované díly zrychlují výrobu vstřikovací formy.

7.3 Autodesk Moldflow Insight 2010

Slouží k simulaci vstřikování materiálu do dutiny vstřikovací formy. Výsledky je možné využít ke zlepšení vstřikovacího cyklu a tím i kvality výrobku nebo k ověření funkce navržené vstřikovací formy. Simulace může odhalit nesprávnou funkci vstřikovací formy ještě před výrobou.

8 CHARAKTERISTIKA VÝROBKU

Zadaným výrobkem je reklamní předmět, který slouží pro ukládání podtácků v pohostinství. Protože se jedná o reklamní předmět, je nutná vzhledová nezávadnost výrobku. Abychom zajistily vzhledovou nezávadnost, byly navrženy temperační systémy tak, aby docházelo k rovnoměrnému chlazení výrobku a tím k minimalizaci deformací. Vyhazovací systém působí na nepohledovou stranu výrobku. Z konstrukčního hlediska jsme zvolili filmový vtok, který by měl minimálně ovlivňovat vzhledovou stranu výrobku.



Obr. 27. 3D model výrobku

8.1 Materiál výrobku

Zvoleným materiálem je polypropylen PP. Polypropylen se řadí do skupiny termoplastů. Má velmi dobré mechanické vlastnosti a mimořádnou odolnost proti stárnutí. Je použitelný v širokém rozsahu teplot a má velmi malou nasákavost. Pro své dobré vlastnosti se využívá v mnoha odvětvích průmyslu. [16]

Z velkého množství druhů polypropylenů byl vybrán Metocene X50109 vyráběný firmou Basell Polyolefins Europe. Jedná se o neplněný typ polymeru. [16]

Vzhledem k uvedeným vlastnostem polypropylenu, znázorněných v tabulce (Tab. 1), bylo zvoleno smrštění polypropylenu 1%. S ohledem na to byla dutina formy zvětšena o 1%. [16]

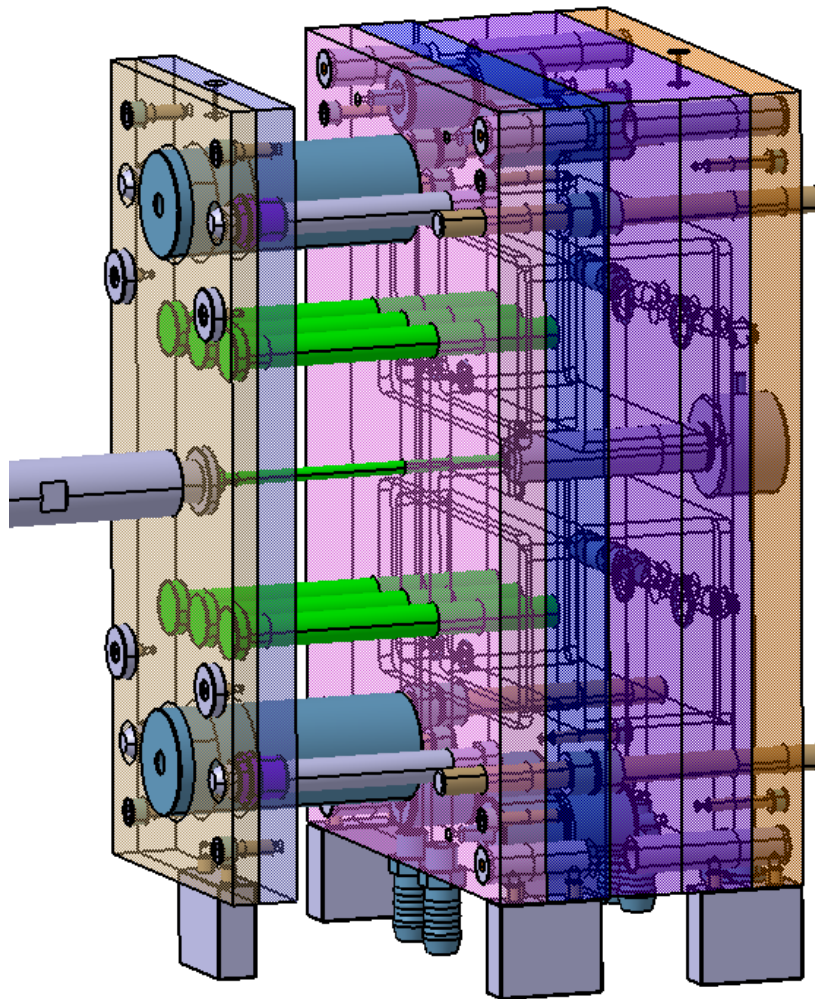
Tab. 1. Charakteristické vlastnosti polypropylenu [16]

Minimální doporučená teplota formy	20	°C
Maximální doporučená teplota formy	40	°C
Minimální doporučená vstřikovací teplota taveniny	220	°C
Minimální doporučená vstřikovací teplota taveniny	260	°C
Teplota degradace materiálu	280	°C
Vyhazovací teplota	75	°C
Maximální smykové napětí	0,25	MPa
Maximální smyková rychlost	100000	1/s
Modul pružnosti v tahu	1700	MPa
Poissonovo číslo	0,4	
Modul pružnosti ve smyku	610	MPa
Minimální smrštění ve směru toku	0,65	%
Maximální smrštění ve směru toku	1,52	%
Minimální smrštění kolmo na směr toku	0,75	%
Maximální smrštění kolmo na směr toku	2,42	%

9 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Navržené vstřikovací formy se liší pouze temperačním systémem zhotoveným ve tvárníku a tvárnici. Přívod a odvod temperačního média je u obou forem totožný. Vstřikovací formy jsou navrženy do univerzálního rámu. Obrázek univerzálního rámu zobrazuje příloha (P I). Univerzální rám je připevněn ke vstřikovacímu stroji a vstřikovací forma je připevněna do univerzálního rámu.

Navržené vstřikovací formy se skládají ze tří základních částí. Jedná se o pravou část formy, levou část formy a vyhazovací systém vstřikovací formy. Pokud konstrukce vstřikovací formy umožňovala použít typizované díly, byly tyto díly použity. Typizované díly zrychlují konstrukci vstřikovací formy. Byly použity typizované díly firmy Hasco. Na obrázku (*Obr. 28*) je znázorněna vstřikovací forma bez tvárníku a tvárnice, protože tyto díly jsou u navržených forem odlišné.



Obr. 28. Vstřikovací forma

Pravá strana vstřikovací formy se skládá ze dvou desek, kterými jsou upínací deska pravá a kotevní deska pravá. Oběma deskami prochází vtoková vložka, která je proti pootočení zajištěna středícím kolíkem, jehož poloha se zajišťuje drážkou v jedné z desek univerzálního rámu. V pravé kotevní desce jsou ukotveny tvárnice a pravá část středícího systému. Středící systém slouží k zajištění polohy pravé a levé strany formy. Pravá strana vstřikovací formy je vystředěna čtyřmi středícími trubkami a sešroubována čtyřmi šrouby.

Levá strana vstřikovací formy se skládá z upínací desky levé a kotevní desky levé. V levé kotevní desce jsou uchyceny tvárníky a levá část středícího systému. Středící systém slouží k zajištění polohy pravé a levé strany formy. V levé upínací desce jsou ukotveny čtyři vodící čepy, které slouží k vedení vyhadzovacího systému vstřikovací formy. K upínací desce jsou přišroubovány rozpěrné trubky, které zvyšují tuhost vstřikovací formy. Levá strana vstřikovací formy je vystředěna čtyřmi středícími trubkami a sešroubována čtyřmi šrouby.

Vyhazovací systém se skládá z opěrné desky pro vyhadzovače a z kotevní desky, ve které jsou ukotveny vyhadzovače. V deskách jsou uložena vodící pouzdra, která slouží k vedení vodícího čepu, jenž je uložen v levé straně formy. Vodící pouzdra plní i funkci středění obou desek. K upínací desce jsou přišroubovány dorazy a také je zde uchycena vyhadzovací spojka (táhlo).

Na vstřikovací formě jsou přišroubovány opěrné kostky, aby mohlo dojít k bezpečné manipulaci a uložení vstřikovací formy. Opěrné kostky by měli zabránit poškození koncovek temperačního systému. K manipulaci slouží nosič, který je připevněn k univerzálnímu rámu.

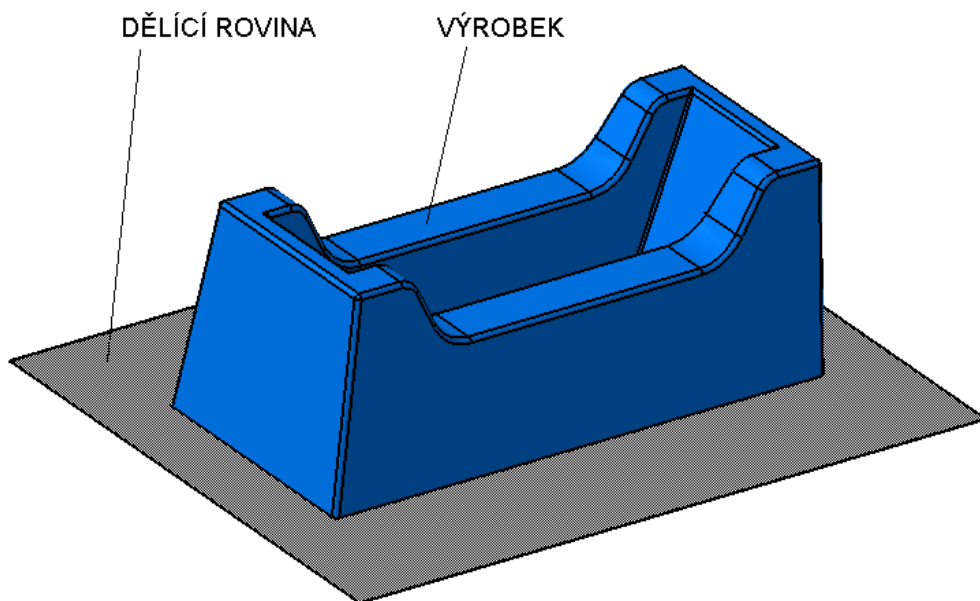
9.1 Volba násobnosti vstřikovací formy

Vzhledem ke konstrukci vstřikovací formy do univerzálního rámu byla zvolena dvounásobná forma z hlediska rozměrů výrobku a univerzálního rámu. Vícenásobnou vstřikovací formu by do univerzálního rámu nebylo možné zhotovit z hlediska velikosti výrobku. Objem vstřikované dávky nutné pro dvounásobnou vstřikovací formu i se zahrnutím vtokového zbytku činí asi 76 cm^3 . Maximální dávka použitého vstřikovacího stroje činí 182 cm^3 . Z hlediska stroje by bylo možné zvolit i čtyřnásobnou vstřikovací

formu ale to nám neumožňují rozměry univerzálního rámu a rozměry výrobku. Proto byla zvolena dvounásobná vstřikovací forma.

9.2 Zaformování výrobku

Správné zaformování výrobku má zajistit vyhození výrobku z dutiny formy. Zaformování vychází ze složitosti výrobku a je důležité pro správnou funkci vstřikovací formy. Složitost výrobku umožnila zvolit pouze jednu dělicí rovinu. Umístění dělicí roviny je patrné z obrázku (Obr. 29). Dělicí rovina je kolmá ke směru uzavírací síly. Po otevření vstřikovací formy v dělicí rovině zůstane výrobek na tvárníku vlivem sil, které jsou způsobeny smrštěním při tuhnutí. K vyhození výrobku dojde vlivem vyhazovačů, které působí na nepohledovou stranu výrobku a tím nedojde ke znehodnocení výrobku. Při sestavení tvárníku a tvárnice do požadované polohy vznikne dutina, která je zvětšena o procento smrštění materiálu.



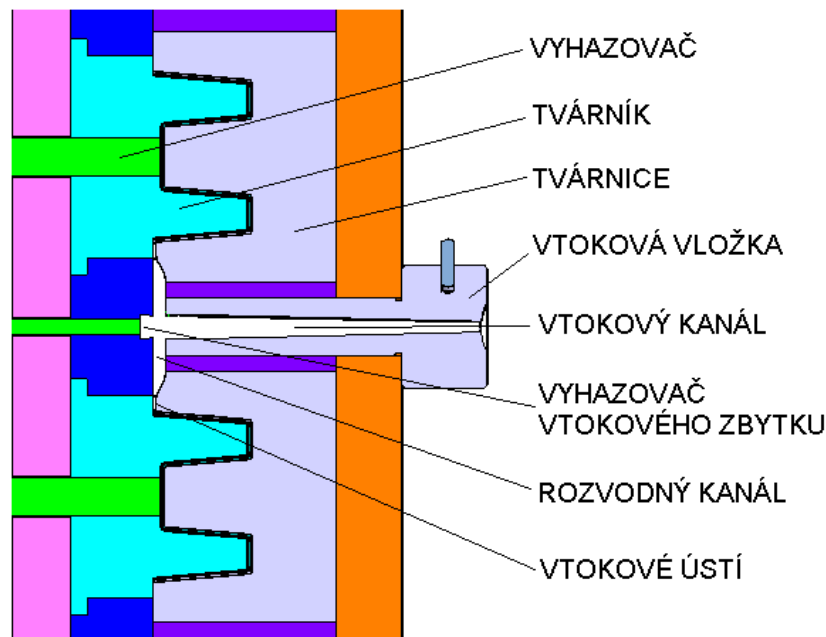
Obr. 29. Určení dělicí roviny

9.3 Vtokový systém

Byla zvolena koncepce vstřikovací formy se studeným vtokovým systémem z důvodu použití univerzálního rámu, který omezuje celkovou výšku vstřikovací formy. Při použití horkého vtokového systému, by se nám celková výška vstřikovací formy zvětšila, což by

bylo v daném případě nežádoucí z důvodu úplného vyjíždění vodících čepů univerzálního rámu z vodících pouzder. Vtoková vložka je proti pootočení a posunutí zajištěna drážkou v jedné z desek univerzálního rámu.

Při plnění dutiny formy prochází tavenina od vstřikovacího stroje nejprve do vtokového kanálu, vtokové vložky, na jehož konci je tok taveniny dělen do rozvodných kanálů. Dále tavenina prochází vtokovým ústím, kde může docházet ke zvýšení teploty taveniny vlivem smykového napětí. Teplota taveniny nesmí překročit teplotu degradace materiálu, protože by mohla vzniknout spálená místa na výrobku a tím by došlo k poklesu mechanické pevnosti. Rozvodné kanály mají tvar lichoběžníku s hloubkou 4 mm a základnami 4 mm a 6mm. Vtokové ústí filmového vtoku bylo zvoleno z důvodu vstřikování do pohledové strany výrobku. Takto zvolené vtokové ústí by mělo minimálně ovlivňovat vzhledovou stranu výrobku. Vtokový systém je vyvážený tzn., že plnění obou dutin je rovnoměrné, tím se zajistí stejné vlastnosti u obou výrobků.



Obr. 30. Vtokový systém

9.4 Odvzdušnění

Odvzdušnění dutiny vstřikovací formy je konstrukčně technologické opatření, které má usnadnit nebo vůbec umožnit vzduchu, který před sebou v dutině formy stlačuje vnikající

tavenina, aby unikl z dutiny a nebránil tak jejímu úplnému vyplnění. Nemůže-li vzduch včas uniknout, dojde vlivem vysokého tlaku a teploty k jeho zahřátí, což se může projevit jako spálené místo na výrobku. Pokud vzduch uniká pomalu, může se dostat do výrobku nebo vzniknout nedotečený výrobek. To způsobuje snížení mechanických vlastností výrobku. Odvzdušnění se provádí v místě tzv. studeného spoje, tedy v místě střetu dvou či více proudů taveniny. Odvzdušnění se vytváří jako ploché nebo kruhové štěrby, které se dělají například v dělicí rovině nebo kolem vyhazovačů apod. Odvzdušnění se většinou provádí až při zkoušení vstřikovací formy. Doporučují se štěrby hluboké 0,01 až 0,02 mm a široké 3mm. Jsou-li kanály hlubší, vniká do nich při vstřikování tavenina. [3]

V navrhované formě je uvažován únik vzduchu vůlemi v dělicí rovině a vůlemi ve vyhazovačích. Pokud by při zkoušení formy bylo zjištěno nedostatečné odvzdušnění dutin, pak by musela být forma opatřena odvzdušňovacími kanálky.

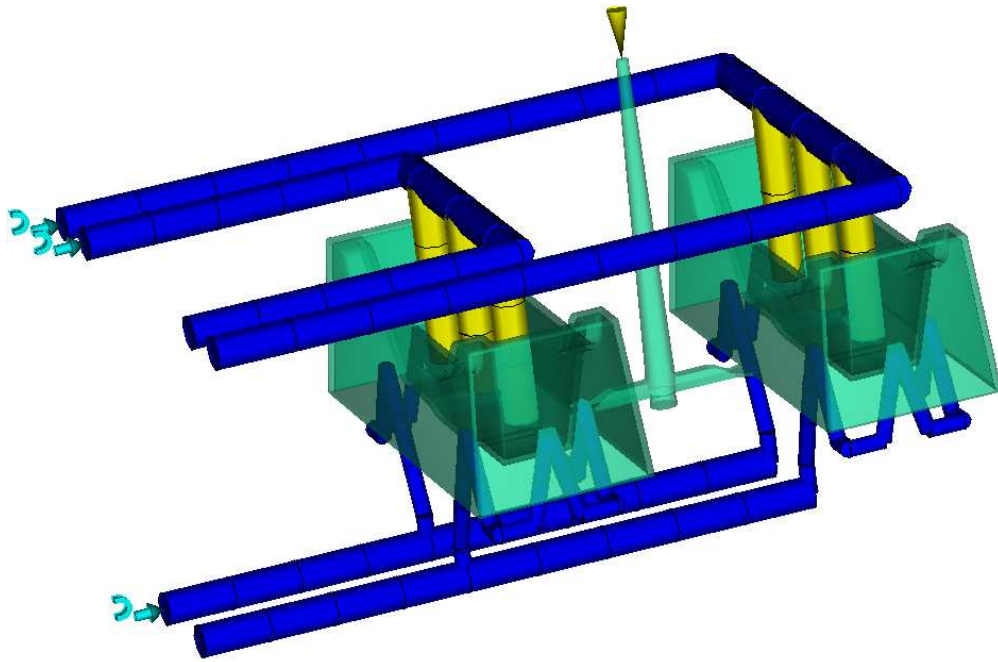
9.5 Temperace

Použitý druh a uspořádání temperačního systému ve vstřikovací formě významně ovlivňuje vlastnosti výrobku a dobu vstřikovacího cyklu. Temperační systém vstřikovací formy má zajistit intenzivní a rovnoměrné chlazení na celém funkčním povrchu dutiny vstřikovací formy.

Pro temperaci vstřikovací formy byly navrženy dva temperační systémy. První temperační systém je vyroben pomocí konvenčních metod obrábění a druhý temperační systém je vyroben nekonvenčním způsobem obrábění tzv. metodou DMLS. Oba temperační systémy mají rozdílnost pouze v rozmístění a způsobu temperace ve tvárníku a tvárnici. Přívody a odvody temperačního média jsou u obou navržených vstřikovacích forem totožné.

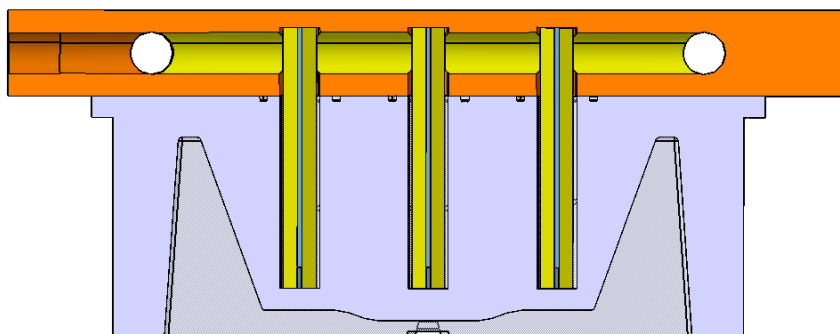
9.5.1 Temperace vyrobená konvenční metodou obrábění

Temperační systém je tvořen třemi samostatnými okruhy. V pravé straně vstřikovací formy jsou umístěny dva temperační okruhy se sériovým zapojením, z nichž každý slouží pro chlazení jedné z tvárnic. V levé straně vstřikovací formy je umístěn jeden okruh pro temperaci tvárníků, který je zapojen paralelně.



Obr. 31. Temperační systém konvenční

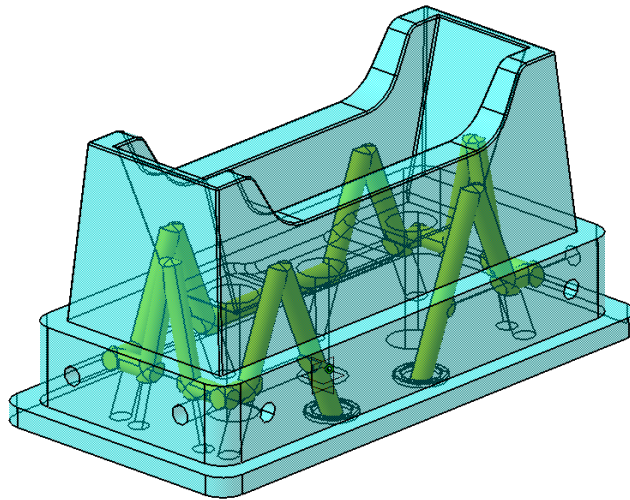
Tvárnice je temperována pomocí tří za sebou umístěných přepážek. Přepážky jsou uloženy v upínací desce a ve tvárnici. Jedná se o polypropylenové přepážky od firmy Hasco. Temperační kanály pro chlazení tvárnic mají průměr 10 mm. V oblasti přepážky dochází ke zrychlení toku temperačního média z důvodu zmenšení průřezu vlivem přepážky. V oblasti zvýšení rychlosti dochází k intenzivnějšímu odvodu tepla. Mezi upínací deskou a tvárnici jsou umístěny tři o-kroužky, které zajišťují těsnost temperačního systému.



Obr. 32. Chlazení tvárnice konvenční

Chlazení tvárníku je řešeno soustavou vrtaných děr, které jsou vrtány pod úhlem, jak je patrné z obrázku (Obr. 33). Díry vrtané pod úhlem jsou vzájemně propojeny dalšími

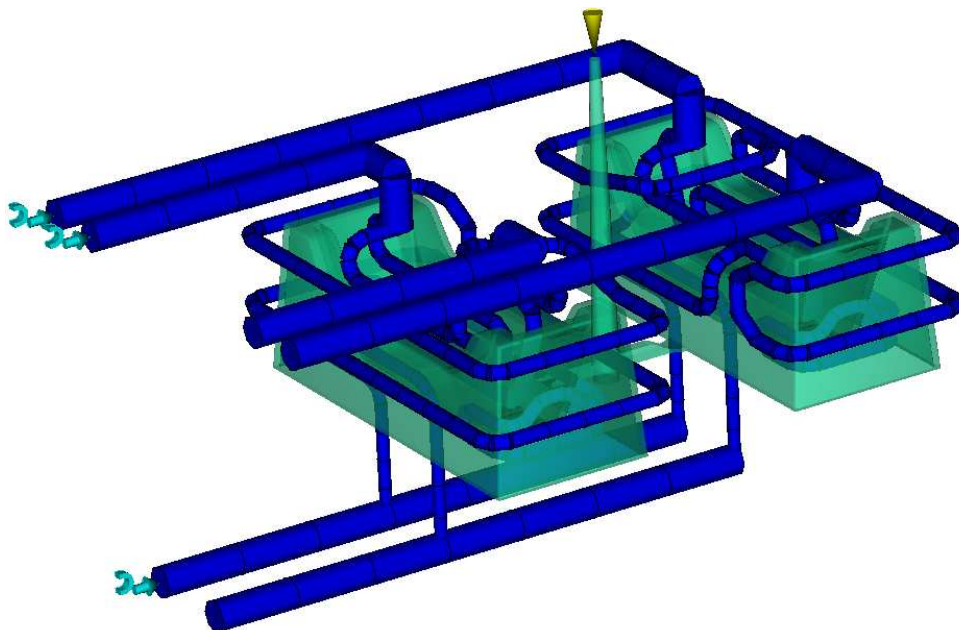
dírami. Proto vzniká velké množství slepých děr, které musí být zablokovány pomocí ucpávek. Průměr vrtaných děr v tvárníku je 5 mm.



Obr. 33. Chlazení tvárníku konvenční

9.5.2 Temperace vyrobená nekonvenční metodou obrábění

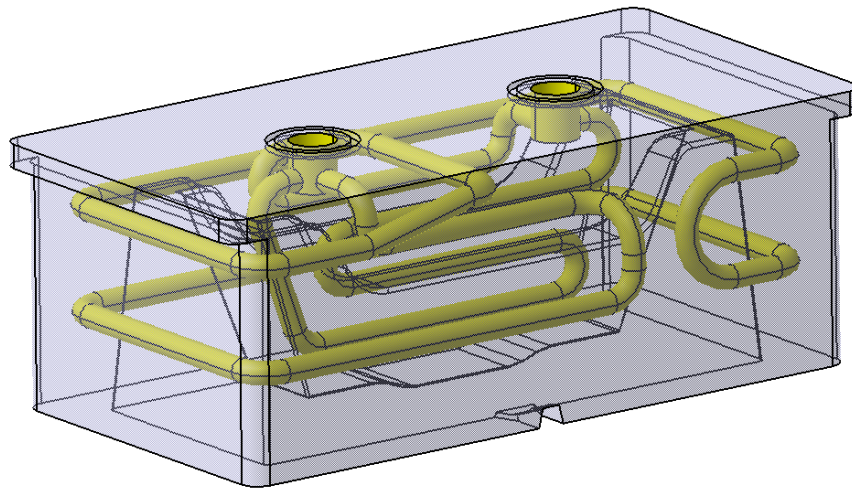
Temperační systém je tvořen třemi samostatnými okruhy. V pravé straně vstříkovací formy jsou umístěny dva paralelní temperační okruhy, z nichž každý slouží pro chlazení jedné z tvárnic. V levé straně vstříkovací formy je umístěn jeden paralelní okruh pro temperování tvárníků.



Obr. 34. Temperační systém nekonvenční

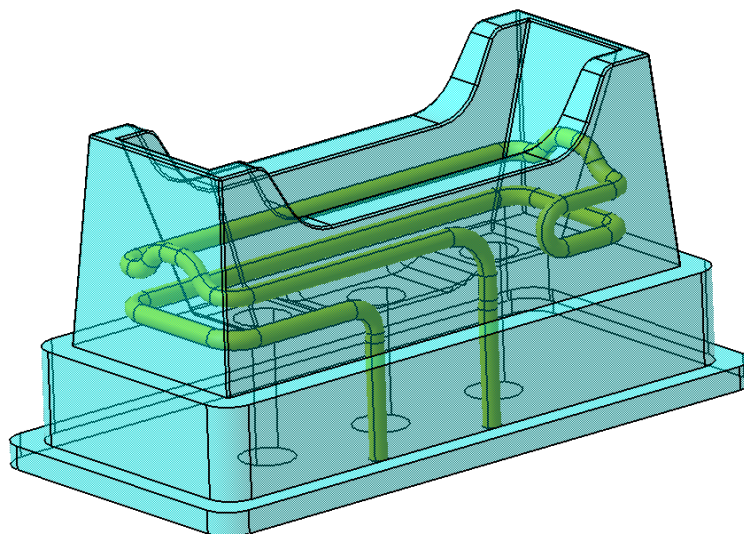
Výroba tvárníku a tvárnice metodou DMLS umožňuje vytvoření takových tvarů temperačních kanálů, které nejsou běžnou konvenční metodou vyrobitelné. Při výrobě tvárníku a tvárnice metodou DMLS nevznikají slepé kanály a proto nejsou nutné ucpávky.

Do tvárnice vstupuje kanál o průměru 10 mm, který se zde rozdělí na dva temperační okruhy o průměrech kanálů 5 mm. Jeden temperační okruh chladí vnitřní část tvárnice a druhý temperační okruh slouží k chlazení vnější části tvárnice. Tím by mělo docházet k intenzivnějšímu a rovnoměrnějšímu chlazení výrobku.



Obr. 35. Chlazení tvárnice nekonvenční

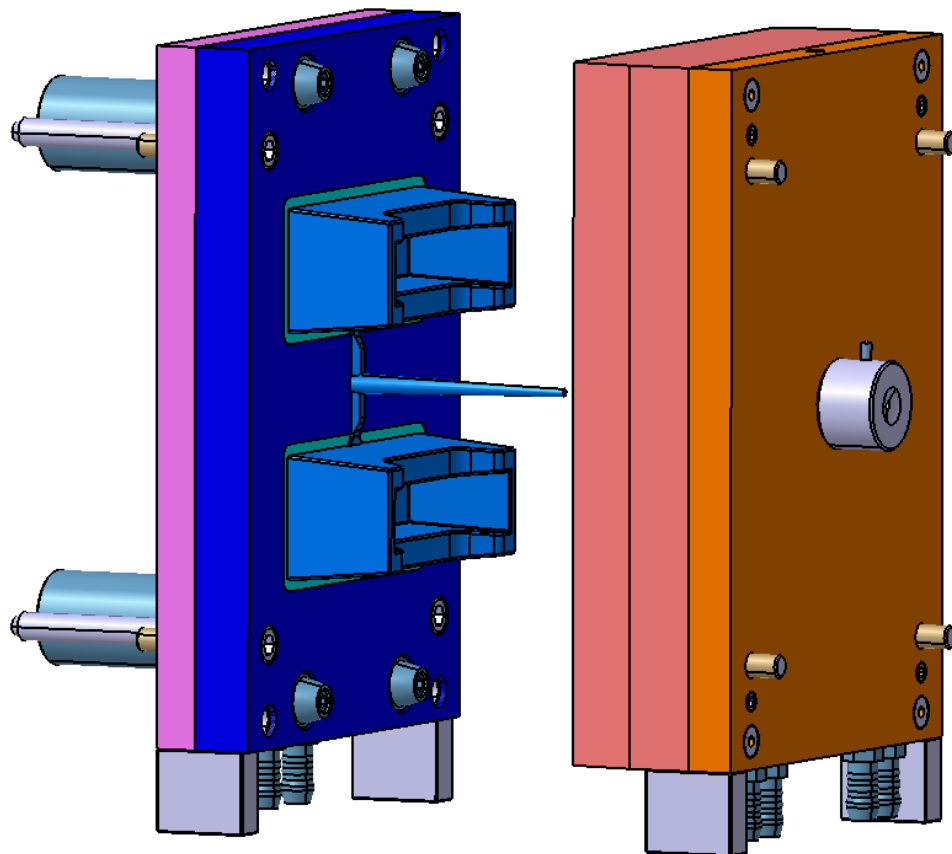
V tvárníku jsou vyrobeny temperační kanály o průměru 4 mm. Temperační systém tvárníku odvádí teplo z vnitřní strany dutiny výrobku.



Obr. 36. Chlazení tvárníku nekonvenční

9.6 Vyhození výrobku

Aby mohlo dojít k vyhození výrobků z dutiny vstřikovací formy, musí se vstřikovací forma otevřít v dělicí rovině. Po otevření formy v dělicí rovině zůstává výrobek na levé straně vstřikovací formy, protože při smrštění dochází ke vzniku sil mezi tvárníkem a výrobkem. Tuto polohu výrobku po otevření formy zajišťuje také přídržovač toku, který je umístěn na levé kotevní desce. Přídržovač toku plní důležitou funkci i při plnění dutiny formy, protože zajišťuje zachycení studeného čela proudící taveniny. Tím zabraňuje proniknutí chladnějšího čela taveniny do tvarové dutiny a tím dochází ke snížení povrchových vad výstřiku.

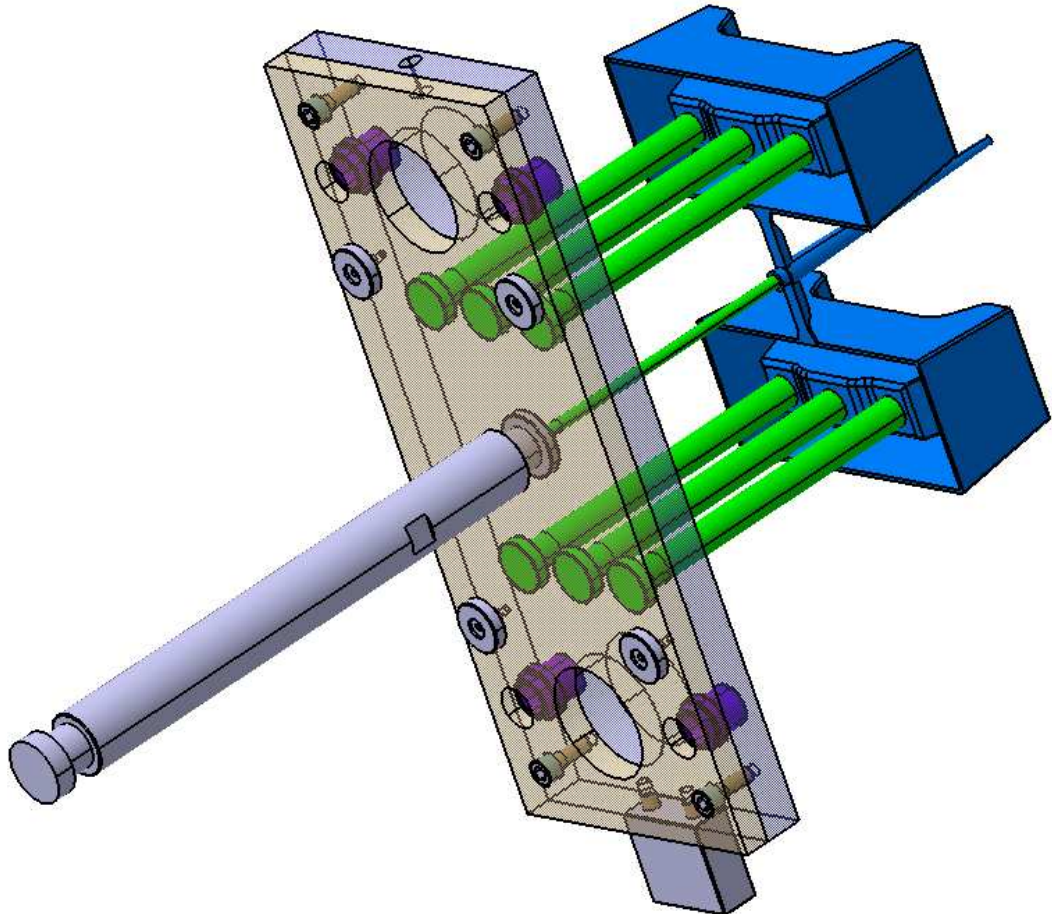


Obr. 37. Odformování výrobku

Po otevření vstřikovací formy v dělicí rovině je výrobek vyhozen z formy pomocí mechanického vyhadzovacího systému. Vyhadzovací systém působí na každý výrobek třemi válcovými vyhadzovači. Průměr válcových vyhadzovačů je 12 mm. Válcové vyhadzovače

působí na nepohledovou stranu výrobku a tím nedochází k poškození pohledové strany výrobku. K vytržení přídržovače toku je použit válcový vyhazovač o průměru 4 mm.

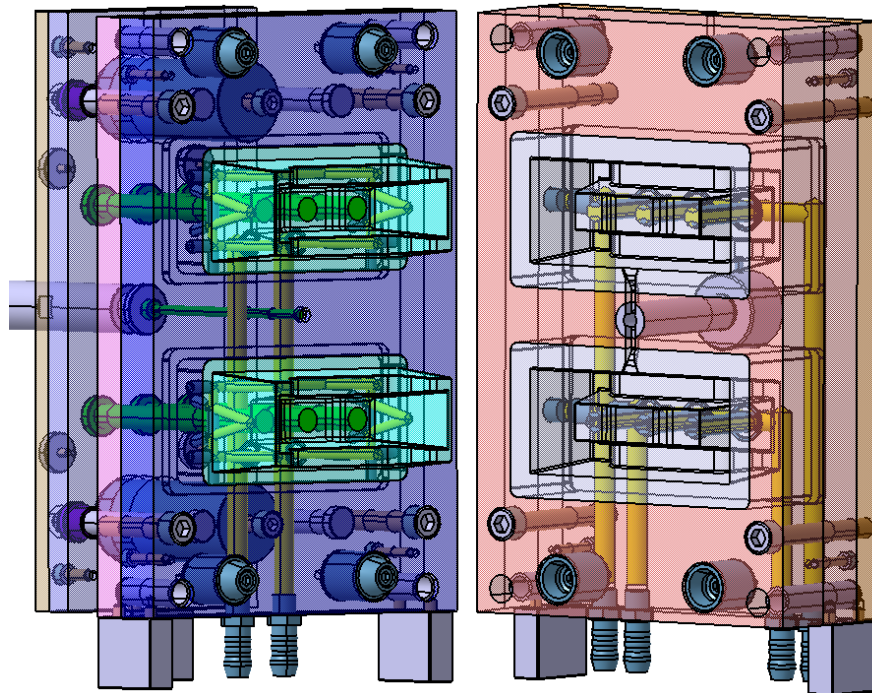
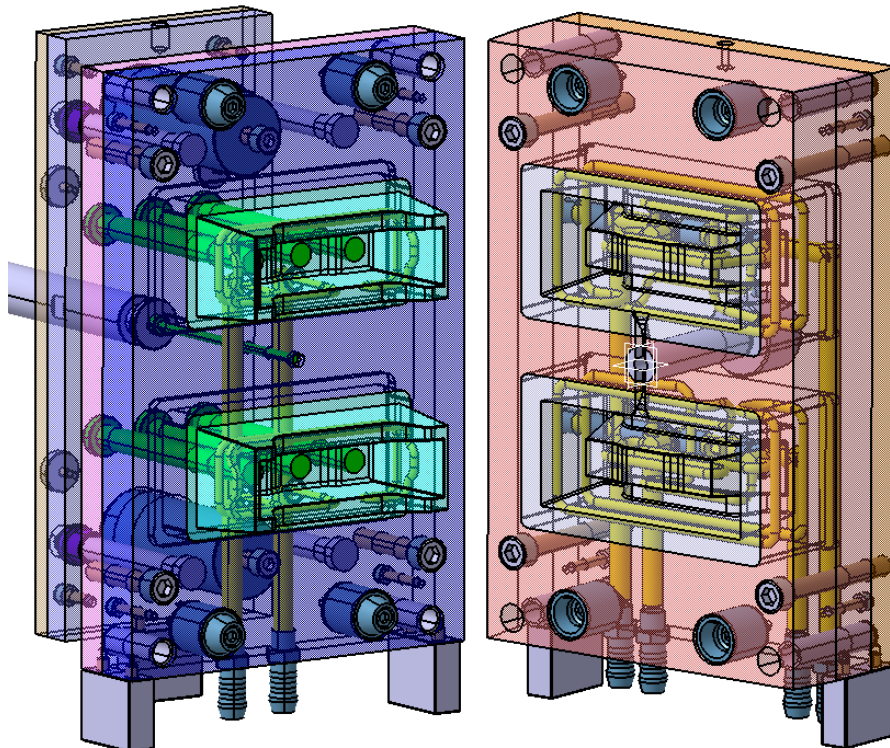
Aby byl výrobek bezpečně vyhozen, musí být pracovní zdvih vyhazovače nastaven alespoň 48 mm, protože výška výrobku je asi 46,5 mm. Maximální zdvih vyhazovacího systému je 66 mm.



Obr. 38. Vyhazovací systém

9.7 Odlišnosti návrhů

Navržené vstřikovací formy se od sebe liší pouze temperačním systémem vyrobeným v tvárníku a tvárnici. Pokud bychom chtěly odzkoušet obě navržené vstřikovací formy, stačí do univerzálního rámu vyrobít jedna kompletní vstřikovací forma dle výrobních výkresů, které jsou v příloze, a u druhé vstřikovací formy stačí vyrobít tvárník a tvárnice. Při výměně tvárníku, tvárnice a změnou polohy ucpávek dostaneme druhý návrh vstřikovací formy s jiným temperačním systémem.

9.7.1 Forma s konvenčně vyrobeným temperačním systémem*Obr. 39. Návrh 1***9.7.2 Forma s nekonvenčně vyrobeným temperačním systémem***Obr. 40. Návrh 2*

9.8 Vstřikovací stroj

Ke vstřikování byl zvolen vstřikovací stroj Allrounder 420C (1000-350), který vyrábí německá firma Arburg. Vstřikovací formy byly navrženy na tento vstřikovací stroj, který je součástí strojového vybavení Ústavu výrobního inženýrství UTB ve Zlíně. Velikost vstřikovací formy, z důvodu upnutí na stroj, i maximální objem dávky odpovídají požadavkům použitého vstřikovacího stroje.



Obr. 41. Vstřikovací stroj firmy Arburg [21]

Základní parametry stroje Allrounder 420 C (1000-350) [21]

- maximální uzavírací síla	1000 kN
- maximální otevření	500 mm
- minimální výška vstřikovací formy	250 mm
- maximální světlost mezi upínacími deskami	750 mm
- vzdálenost mezi vodícími sloupky	420 x 420 mm
- velikost upínací desky	570 x 570 mm
- maximální vyhazovací síla	40 kN
- maximální zdvih vyhazovače	175 mm
- celkový příkon stroje	33,9 kW
- poměr šneku L/D	20
- průměr šneku	40 mm
- maximální objem dávky	182 cm ³

- maximální vstřikovací tlak 2120 bar
- maximální krouticí moment šneku 550 Nm
- maximální přítlačná síla trysky 60 kN

9.9 Temperační jednotka

K temperaci bylo zvoleno temperační zařízení od firmy Regloplast, typ 150 SMART, který je součástí strojového vybavení Ústavu výrobního inženýrství UTB ve Zlíně

Základní parametry temperační jednotky 150 SMART

- maximální vstupní teplota 150 °C
- maximální průtok 60 l/min
- minimální tlak 3.8 bar
- příkon 0.5 kW
- maximální teplota okolí 40 °C



Obr. 42. Temperační jednotka

10 TOKOVÁ ANALÝZA

K porovnání navržených temperačních systémů byl použit program Autodesk Moldflow Insight 2010. Z programu Catia byl importován model výrobku do programu Moldflow Insight 2010 ve formátu stp. Na modelu byla vytvořena síť, po jejíchž uzlových bodech probíhá výpočet. Dále jsou importovány nebo vytvořeny trajektorie temperačního systému, kterým jsou nadefinovány podmínky a poté jsou vysíťovány.

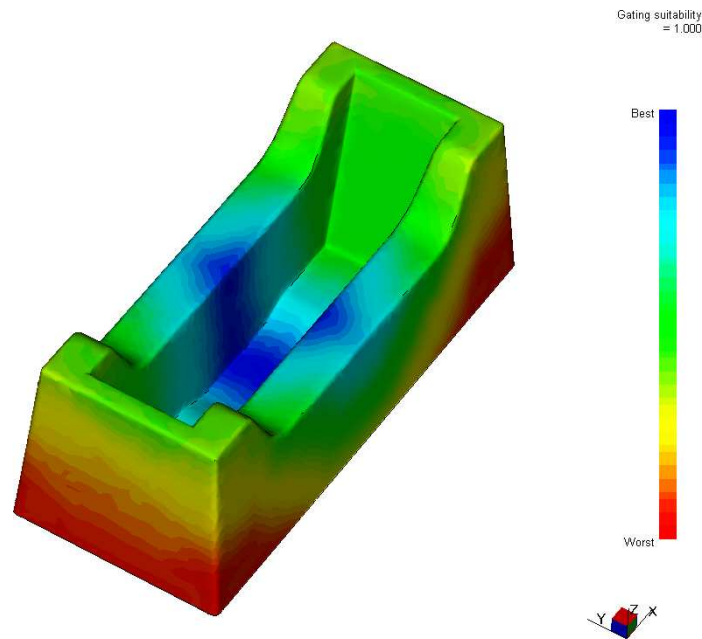
10.1 Procesní podmínky

Aby mohlo dojít k porovnání navržených temperačních systémů, musí být u obou návrhů nastaveny stejné procesní podmínky. Procesní podmínky jsou vstupní parametry jako např. použitý materiál, vstřikovací stroj, použité temperační médium atd. Pro oba navržené temperační systémy byly vypočteny analýzy, Gate location a Cool-Fill-Pack-Warp. U obou analýz byla použita síť 2,5 D i 3D. Analýzy, kde bylo využito 3D sítě, jsou přesnější, protože výpočet probíhá ve více uzlových bodech než u 2,5 D sítě. U analýzy Gate location byly nastaveny tyto procesní podmínky. Teplota formy 30 °C, teplota taveniny 240 °C.

Tab. 2. Nastavené procesní podmínky pro analýzu C-F-P-W [22]

	Hodnota	Jednotka
Teplota formy	30	°C
Teplota taveniny	240	°C
Čas otevření formy	5	s
Čas vstřikovacího cyklu	automaticky	-
Čas vstřiku	1,5	s
Bod přepnutí	99	%
Délka dotlakové fáze	5	s
Dotlaková fáze pokles tlaku na	85	%
Teplota temperačního média	25	°C
Průtok temperačního média	15	l/min

10.2 Vhodnost umístění vtoku



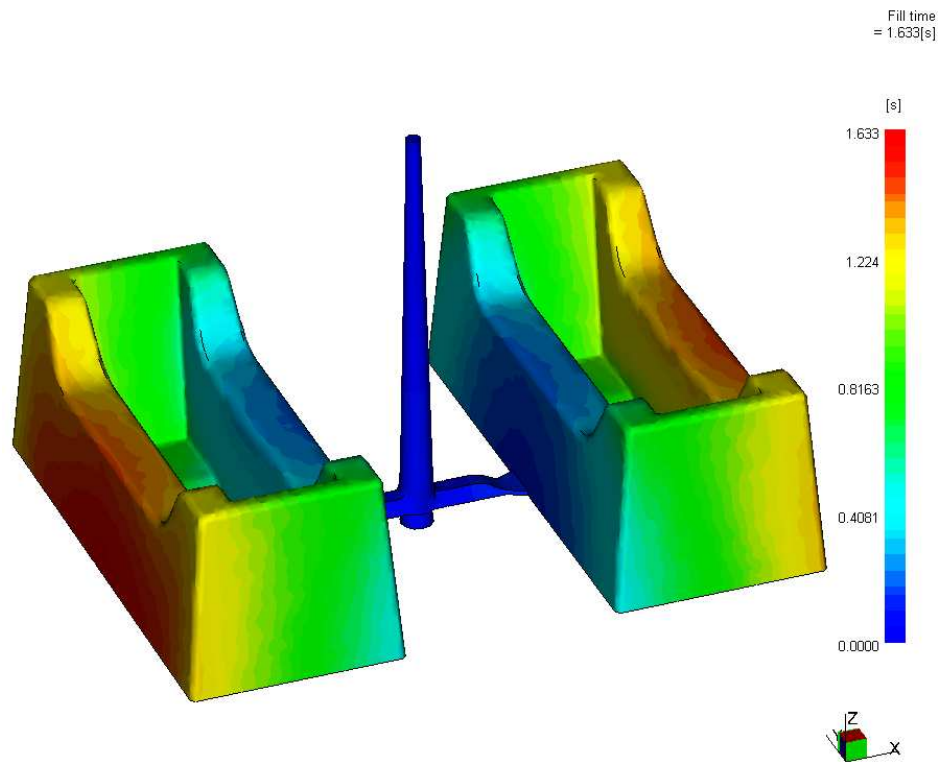
Obr. 43. Vhodnost umístění vtoku

Tato analýza napomáhá určit nejvhodnější místo vtoku. Při umístění vtoku do vhodného místa eliminujeme vznik studených spojů, vznik vzduchových bublin atd. Musíme však brát v úvahu konstrukci formy a vtok zvolit na takovém místě, aby to bylo možné i z konstrukčního hlediska (aby bylo možné výrobek odformovat). Obrázek (Obr. 43) zobrazuje nejvhodnější místo vtoku (zobrazeno modře) a nejhorší místo pro zvolení vtoku (zobrazeno červeně).

Jak je patrné z obrázku (Obr. 43) vtokové ústí by mělo být zvoleno přibližně uprostřed výrobku, jak zobrazuje daný obrázek pomocí modré barvy. Umístění vtokového ústí do středu výrobku bylo velmi složité z hlediska konstrukčního řešení vstřikovací formy do univerzálního rámu. Umístění vtoku bylo zvoleno do středu jedné z delších vnějších stran. Vhodnost zvoleného místa daný program určil přibližně na 50%. Protože je ústí vtoku řešeno do pohledové strany výrobku, byl použit filmový vtok, který by měl minimálně ovlivňovat pohledovou stranu výrobku a zaručit vyplnění dutiny vstřikovací formy.

U obou návrhů je analýza Gating suitability totožná, protože na výpočet této analýzy nemá vliv navržené chlazení. Matematický výpočet probíhá na základě použitého materiálu a tvaru výrobku. Tvar výrobku a použitý materiál je u obou návrhů totožný.

10.3 Čas plnění



Obr. 44. Čas plnění

Analýza Fill time znázorňuje plnění dutiny vstřikovací formy v závislosti na čase. Znázornění je odstupňováno barevnou škálou, která je znázorněna na (Obr. 44). Pokud by se v barevné škále na modelu objevila šedá barva, znamená to, že v tomto místě neproběhl výpočet a to znamená, nedotečení výrobku. Bylo by tedy nutné změnit procesní podmínky.

Čas plnění a dotlaku mají rozhodující vliv na kvalitu výrobku. Naplnění dutiny formy by mělo proběhnout v co možná nejkratším čase při minimálním odporu toku taveniny. Dotlak působí až do chvíle zamrznutí vtokového ústí.

U návrhu s konvenčním chlazením byla dutina formy vyplněna za 1,633 s, u návrhu s nekonvenčním chlazením došlo k vyplnění za 1,634 s.

U obou návrhů je doba nutná k vyplnění dutiny formy téměř totožná, protože na výpočet této analýzy je vliv navržené chlazení minimální. Účinnější chlazení snižuje viskozitu taveniny a to způsobuje zhoršení zatékavosti polymeru tedy prodloužení času vyplnění dutiny vstřikovací formy daným polymerem. Doba vstřiku je velmi krátká, a proto je vliv chlazení minimální.

10.4 Chování temperačního média

Chování temperačního média v temperačních kanálech má vliv na temperaci vstříkovací formy. Chování temperačního média u obou návrhů temperace je popsáno v (Tab. 3).

Tab. 3. Chování temperačního média v temperačním systému

	Konvenční návrh	Nekonvenční návrh
Max. teplota temperačního média	25,12 °C	25,19 °C
Max. teplota stěny temperačního kanálu	25,64 °C	26,03 °C
Max. Reynoldsovo číslo	43322	44662
Min. Reynoldsovo	17823	17865
Maximální průtok	15 l/min	15 l/min
Minimální průtok	7,454 l/min	5,981 l/min

Maximální zvýšení teploty temperačního média na vstupu a výstupu by nemělo překročit hodnotu vyšší jak 3 °C. U konvenčního chlazení došlo ke zvýšení teploty o 0,12 °C a u nekonvenčního chlazení o hodnotu 0,19 °C.

Maximální teplota temperačního média úzce souvisí s teplotou stěny temperačního kanálu. V celém temperačním systému by teplota stěny temperačního kanálu neměla překročit hodnotu 5 °C od teploty temperačního média na vstupu. U konvenčního chlazení došlo ke zvýšení teploty stěny temperačního kanálu o 0,64 °C a u nekonvenčního chlazení o hodnotu 1,03 °C.

Při překročení stanovených hodnot teploty temperačního média nebo stěny temperačního kanálu se doporučuje zvětšit průtok temperačního média nebo přidat chladicí okruh do problémového místa. Vyšší hodnoty teploty temperačního média nebo stěny temperačního kanálu mohou způsobit nerovnoměrné chlazení, které má vliv na deformaci a kvalitu výrobku. U konvenčního i nekonvenčního návrhu nedošlo k překročení stanovených hodnot pro teplotu temperačního média a teplotu stěny temperačního kanálu.

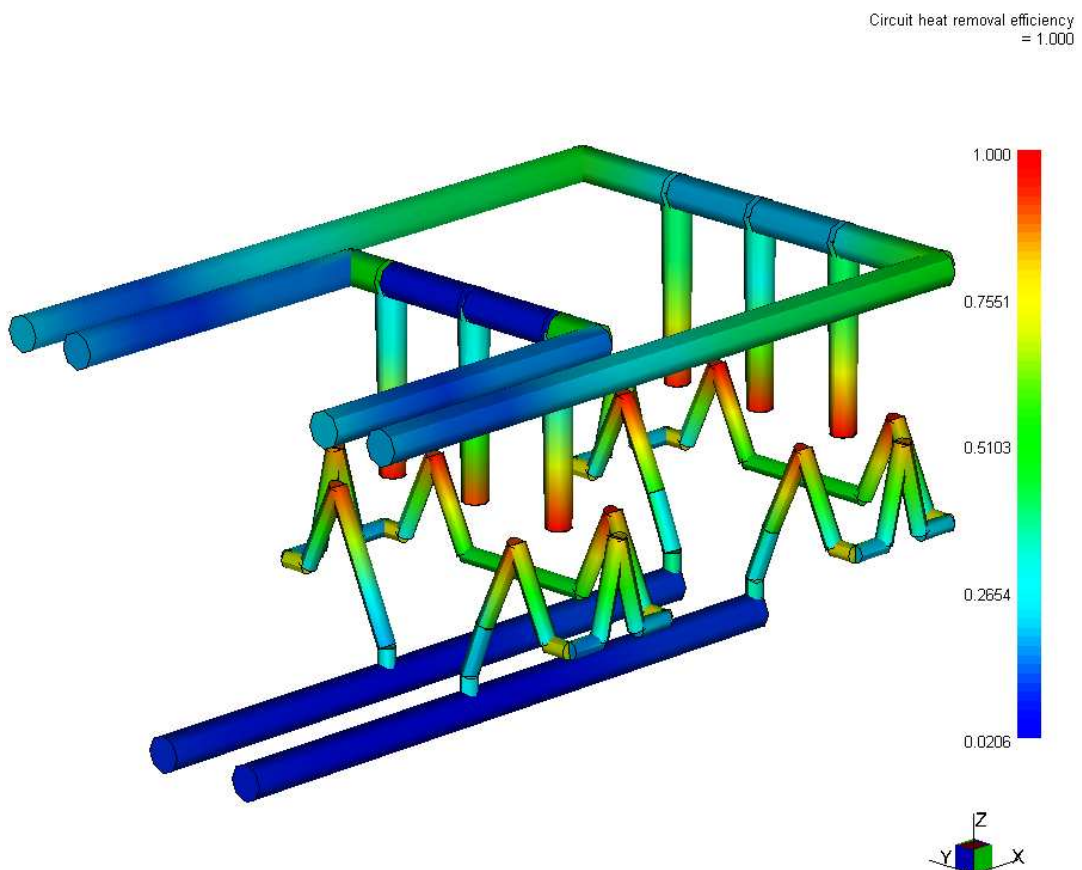
Průtok temperačního média u obou návrhů byl pro všechny tři temperační větve stanoven na 15 l/min. Tento průtok zajišťuje turbulentní proudění temperačního média ve všech částech temperačního okruhu. Turbulentní proudění zajišťuje lepší odvod tepla.

10.5 Účinnost odvodu tepla z chladícího obvodu

Tato analýza zobrazuje účinnost odvodu tepla z jednotlivých oblastí temperačního systému. Ve větším množství se vyskytují temperační kanály, jejichž hodnoty jsou pozitivní, tzn. hodnoty od 0 do 1. Částím s nejvyšší účinností odvodu tepla je přiřazena číslice 1 tedy červená barva znázorněná na (Obr. 45) a (Obr. 46). V oblastech temperačního systému, jejichž hodnoty jsou negativní, tzn. hodnoty menší než 0, dochází naopak k ohřívání. Efektivitu odvodu tepla lze zvyšovat mnoha činiteli. [22]

Účinnost odvodu tepla z chladícího obvodu je závislá na geometrii a vzdálenosti kanálů od dutiny vstříkovací formy, Reynoldsovu číslu a na teplotě temperačního média.

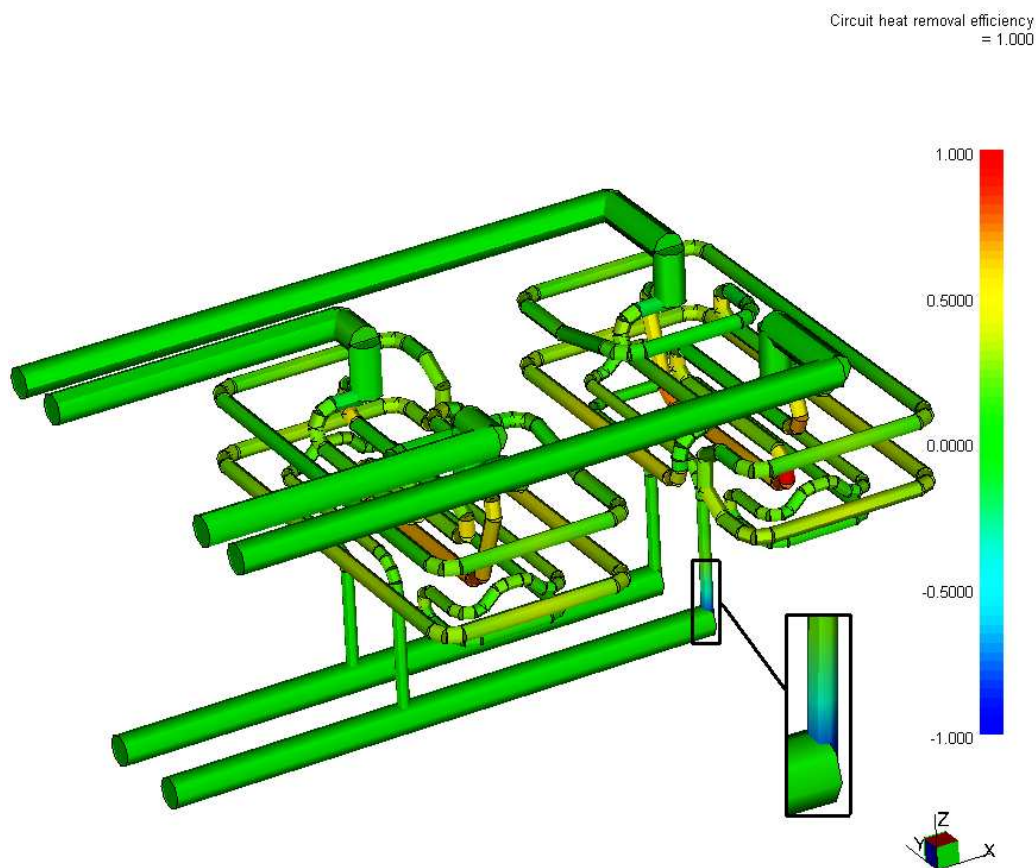
10.5.1 Konvenční návrh



Obr. 45. Účinnost odvodu tepla

Jak je patrné z (Obr. 45) efektivita odvodu tepla navrženého temperačního systému v oblasti tvarové dutiny je kolem 50%. Chlazení v oblasti tvárníku a tvárnice je velmi účinné, nižší účinnosti dosahují přívodní a odvodní kanály. Maximální účinnost temperačního okruhu je v oblasti tvarové dutiny, kde se vyskytují tzv. špičky efektivit.

10.5.2 Nekonenční návrh



Obr. 46. Účinnost odvodu tepla

Jak je patrné z (Obr. 46) velmi dobrou efektivitu mají okruhy, které zajišťují chlazení tvárníc v oblasti tvarové dutiny. Zajímavostí je místo znázorněné na detailu (Obr. 46) zde dochází k ohřívání temperačního kanálu. To je nejspíše způsobeno paralelním chlazením, kde došlo k výrazné změně geometrie temperačního kanálu z průměru 10 mm na průměr 4 mm.

Na první pohled se jeví temperační systém vyrobený konvenční metodou jako efektivnější. Nicméně musíme uvažovat fakt, že u nekonvenčního chlazení byly odstraněny tzv. špičky

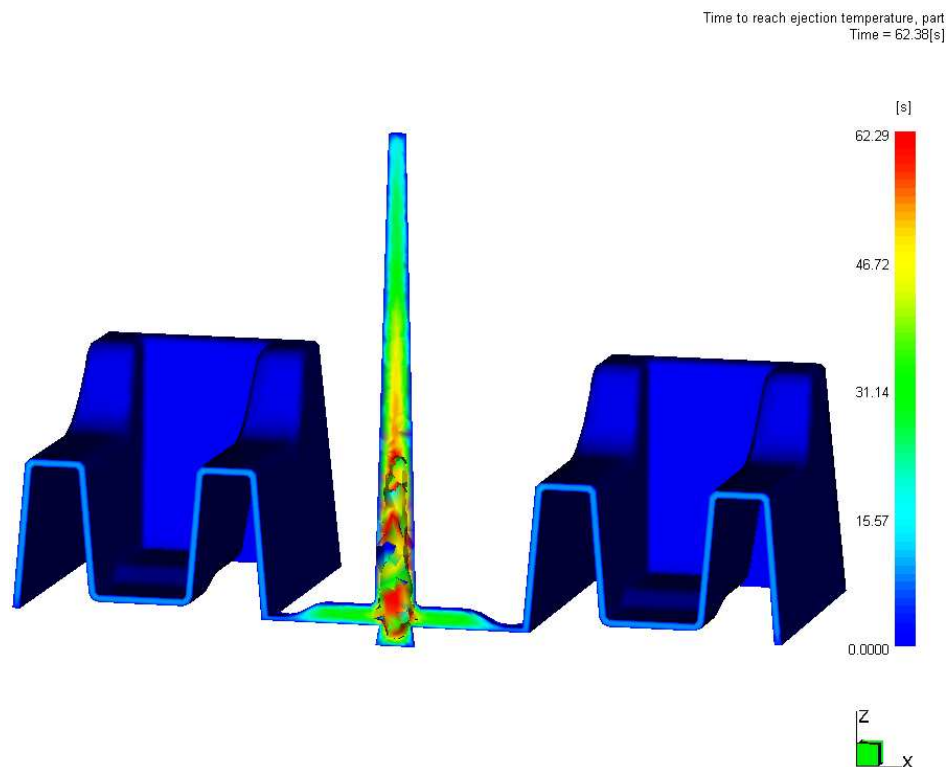
efektivity a odvodu tepla účastní větší plocha temperačních kanálů. To v celkovém zhodnocení způsobí rovnoměrnější a efektivnější chlazení.

10.6 Ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu

Tato analýza určuje čas, který je potřebný k ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu. Vyhazovací teplota je stanovena dle materiálu. Hodnota vyhazovací teploty zvoleného materiálu je 75 °C. Ve výchozím nastavení použitého programu je nastaveno, že celý výrobek nemusí splňovat stanovenou vyhazovací teplotu 75 °C. Aby mohl být výrobek vyhozen, musí být alespoň 80 % výrobku v celém průřezu ochlazen na vyhazovací teplotu. [22]

Čas nutný pro ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu zahrnuje i ochlazení vtokového systému na vyhazovací teplotu. K ochlazení výrobku dojde mnohem dříve než k ochlazení vtokového systému. Výrobky mohou být vyhozeny z dutiny vstříkovací formy, i když vtok není ochlazen na vyhazovací teplotu. Musí však dojít k bezpečnému vyhození výrobků spolu s vtokovým rozvodným systémem.

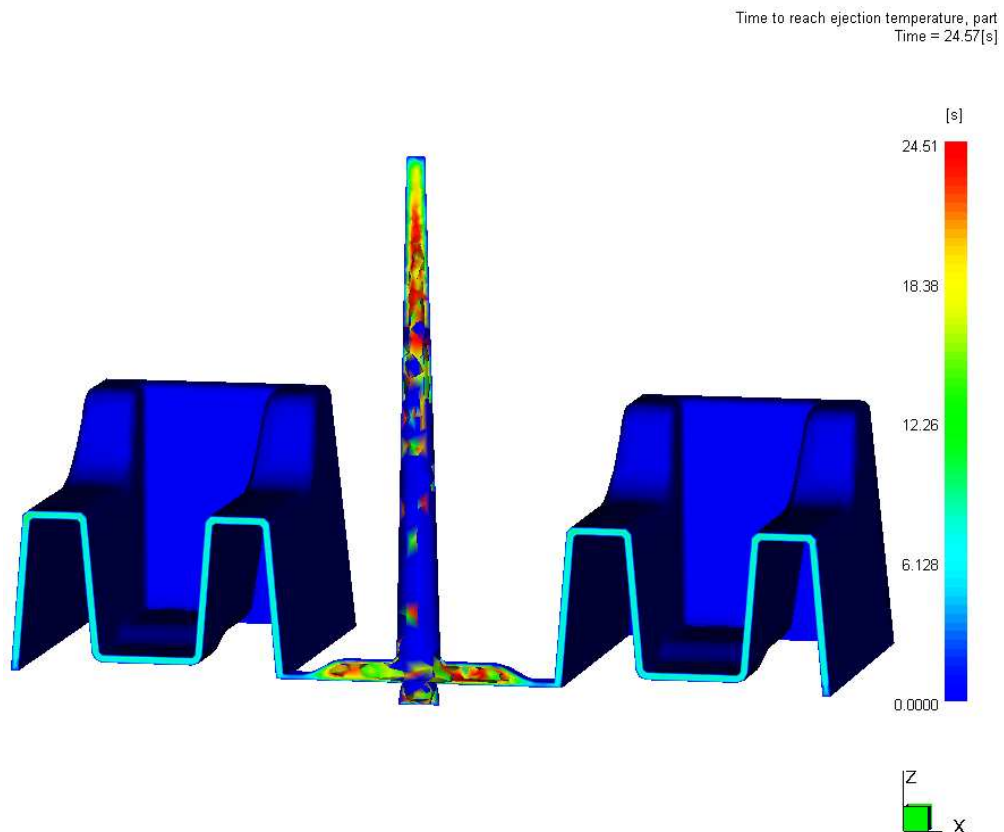
10.6.1 Konvenční návrh



Obr. 47. Ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu

Čas, za který může být výrobek z dutiny vstříkovací formy vyhozen při použití konvenčního chlazení, stanovil daný program na 62,29 s. K zatuhnutí vtokového ústí dojde v čase přibližně 7 s. K zatuhnutí výrobku v celém průřezu dojde za čas 12 s.

10.6.2 Nekonenční návrh



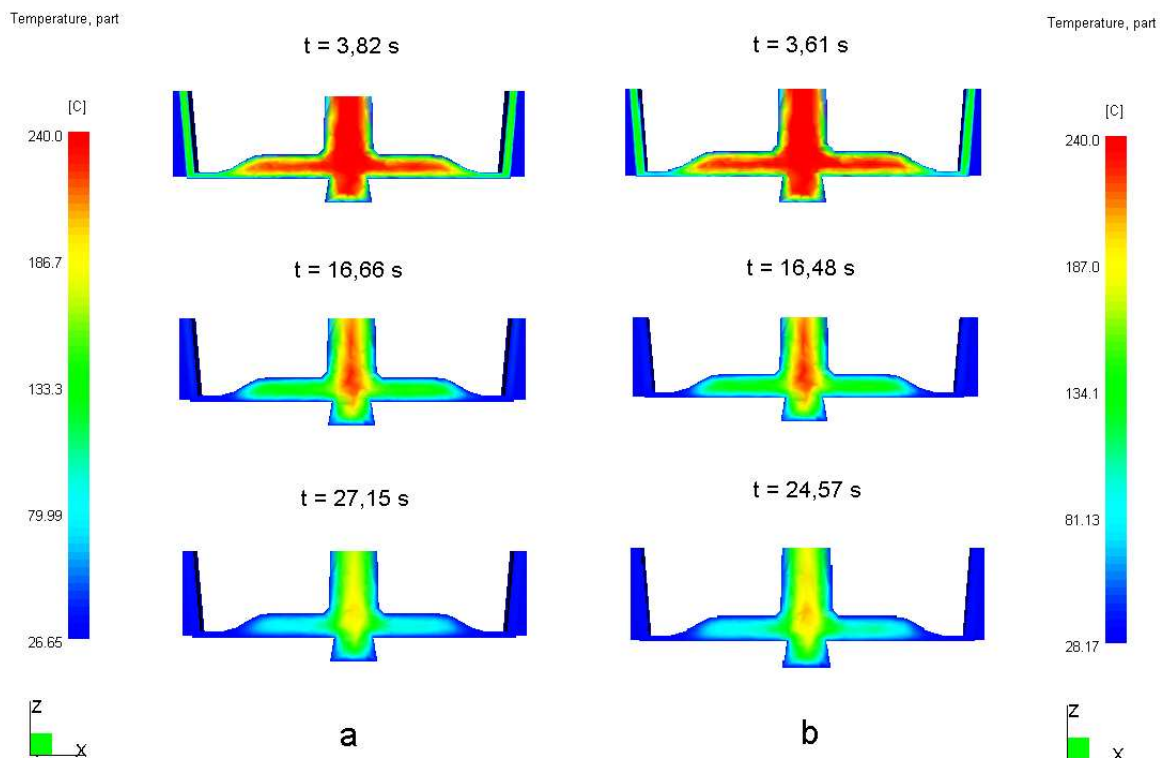
Obr. 48. Ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu

Čas, za který může být výrobek z dutiny vstříkovací formy vyhozen při použití nekonvenčního chlazení, stanovil daný program na 24,57 s. K zatuhnutí vtokového ústí dojde v čase přibližně 4 s. K zatuhnutí výrobku v celém průřezu dojde za čas 10 s.

Čas potřebný k ochlazení 80 % objemu výrobku na vyhazovací teplotu konvenčním chlazením je 62,29 s a nekonvenčním chlazením 24,51 s. Při použití nekonvenčního chlazení je vstříkovací cyklus kratší, což zvýší efektivitu výroby. Cyklus při použití nekonvenčního chlazení je asi o 37 s kratší než při použití konvenčního chlazení.

10.7 Teplota výrobku

Tato analýza zobrazuje teplotu výrobku po průřezu v libovolném místě ve stanovených časových intervalech. Pomocí této analýzy je možné určit kvalitu studené spoje, délku vstřikovacího cyklu a částečně i smrštění. Rozdíl teplot ve stejné tloušťce výrobku v jeho průřezu by neměl překročit hodnotu ± 10 °C. Při nedodržení teplotní podmínky dochází ke zhoršení rozměrové přesnosti výrobku.



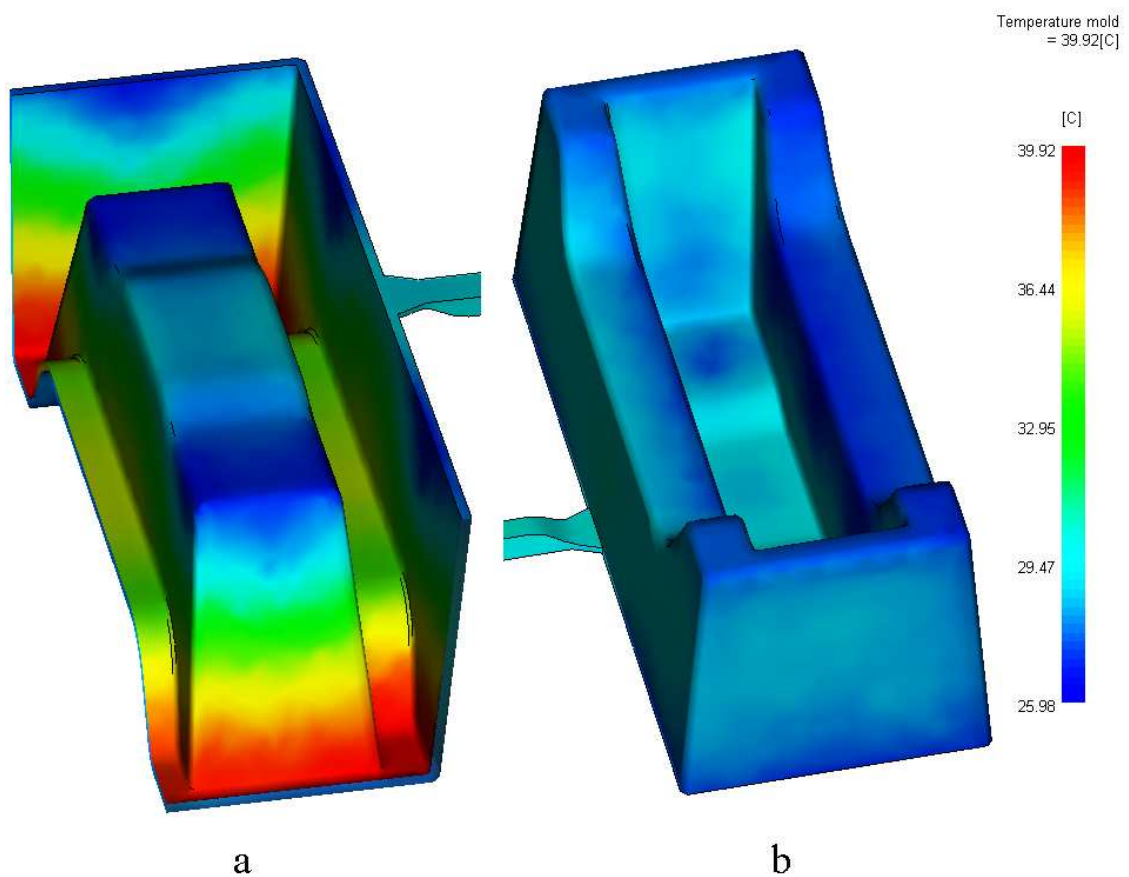
Obr. 49. Teplota vtokového systému
a) konvenční chlazení, b) mekonvenční chlazení

Jak je patrné z (Obr. 49) teplota vtokového systému je u obou návrhů téměř stejná. Protože v tomto místě se nevyskytuje chlazení. Výrobek je na vyhazovací teplotu ochlazen nejpozději do 15 s u obou návrhů. Zkrácení času výrobního cyklu, by se dalo zajistit chlazením vtokového systému. Protože vtokový systém se na vyhazovací teplotu uchladí jako poslední. Výrobky mohou být vyhozeny z dutiny vstřikovací formy, i když vtok není ochlazen na vyhazovací teplotu. Musí však dojít k bezpečnému vyhození výrobků spolu s vtokovým rozvodným systémem.

10.8 Teplota formy

Tato analýza zobrazuje teplotu vstřikovací formy na straně tvárníku a na straně tvárnice. Minimální či maximální rozdíl mezi stranou tvárnice a stranou tvárníku by měli být do 10 °C u amorfních materiálů a do 5 °C u semikrystalických materiálů. Tyto stanovené požadavky se u většiny forem jen těžko dodržují, měli by však být cílem správného návrhu chlazení. Běžně se však vyskytují rozdíly teplot 10 °C až 30 °C. Při vyšších hodnotách dochází ke zhoršení rozměrové přesnosti výrobku a prodlužuje se doba vstřikovacího cyklu. [22] Používaným materiálem výrobku je polypropylen, který je semikrystalický.

10.8.1 Konvenční návrh

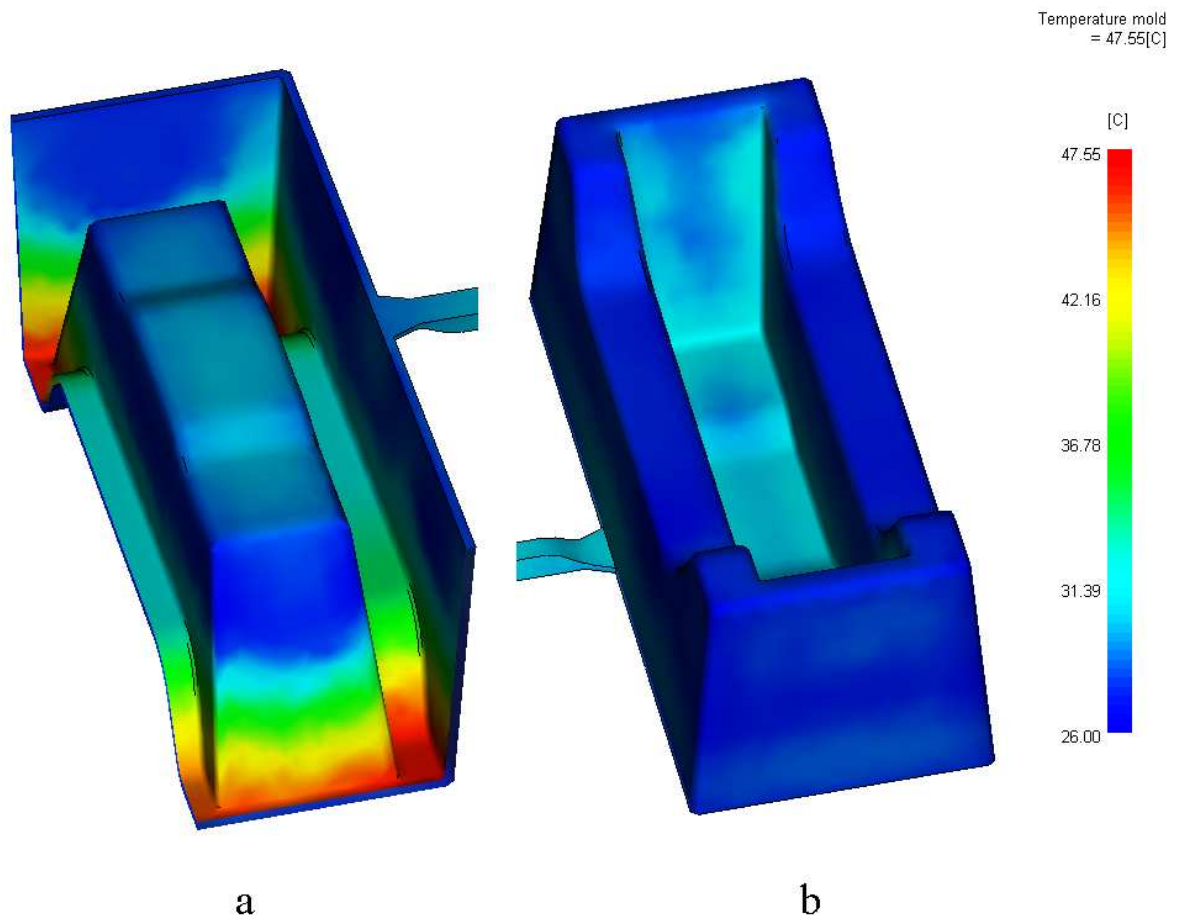


Obr. 50. Teplota formy

a) strana tvárníku, b) strana tvárnice

Jak je patrné z (Obr. 50) rozdíl teplot v kritickém místě označeno červeně, činí kolem 12 °C. Spodní strana výstupků na výrobku neboli horní výstupky u tvárníků, jsou těžko chladitelné, protože zde není prostor pro zavedení temperačního kanálu.

10.8.2 Nekonvenční návrh



Obr. 51. Teplota formy
a) strana tvárníku, b) strana tvárnice

Jak je patrné z (Obr. 51) rozdíl teplot v kritickém místě označeno červeně, činí kolem 18 °C. Spodní strana výstupků na výrobku, nebo li horní výstupky u tvárníků, jsou těžko chladitelné, protože zde není prostor pro zavedení temperačního kanálu.

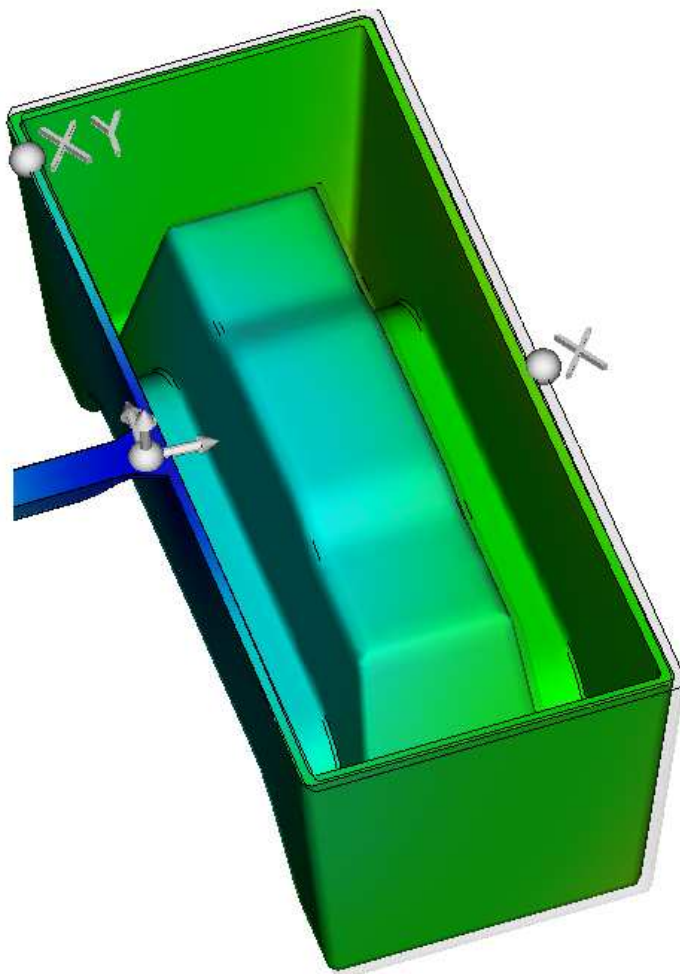
Rozdíly teplot mezi tvárníkem a tvárnicí jsou u návrhu s konvenčním chlazením menší než u návrhu s nekonvenčním chlazením. Je to způsobeno stanovenou délkou vstřikovacího cyklu. U konvenčního způsobu jsou teploty odečítány po čase 62,29 s, kdežto u nekonvenčního návrhu je tento čas pouze 24,51 s.

Chlazení při použití nekonvenčního chlazení je rovnoměrnější a účinnější. Nicméně ani jedním chlazením není možné uchladiť výstupky na tvárníku, protože tloušťka stěny tvárníku v tomto místě je malá pro zavedení temperačního kanálu a dodržení tuhosti stěny.

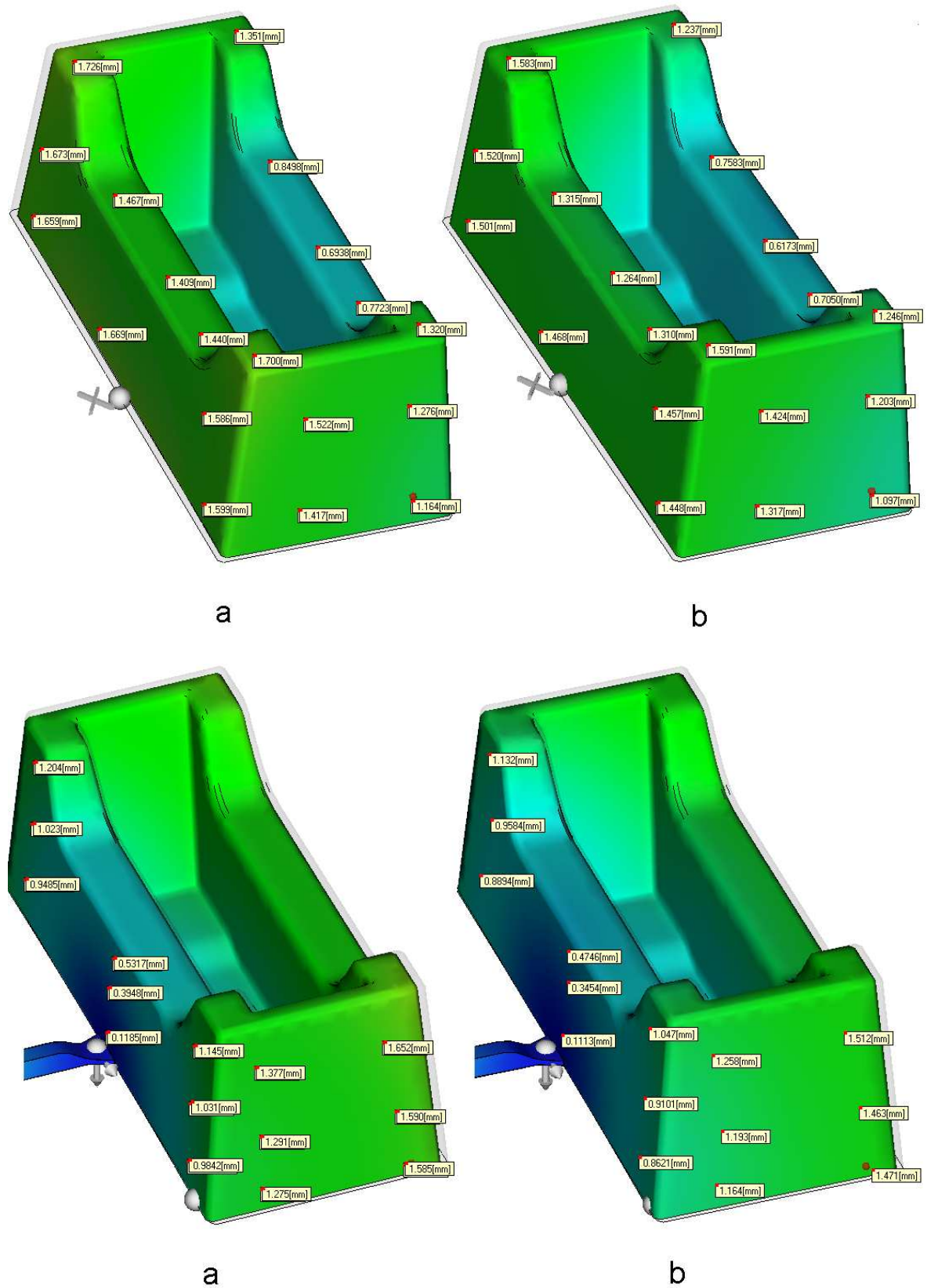
10.9 Celkové deformace

Tato analýza zobrazuje celkové deformace v jednotlivých bodech. Protože znázornění pomocí barevné škály je velmi málo názorné a nedokáže dostatečně zachytit odlišnost deformace, bylo na obou modelech vybráno několik totožných bodů, ve kterých byly vyobrazeny deformace. Deformace výrobku při použití nekonvenčního chlazení jsou ve všech zvolených bodech menší než deformace při použití konvenčního chlazení. Hodnoty deformací jsou porovnány v (Tab. 4).

Aby mohlo dojít k porovnání deformací, musela být zvolena odpočtová rovina. Odpočtová rovina se volí pomocí tří bodů, které jsou znázorněny na obrázku (Obr. 52). Odpočtová rovina je totožná s pracovní polohou výrobku a také touto rovinou prochází dělicí rovna vstřikovací formy.



Obr. 52. Odpočtová rovina



Obr. 53. Celková deformace

a) konvenční chlazení, b) nekonvenční chlazení

Tab. 4. Rozdílnost deformace v jednotlivých bodech

počet bodů	konvenční	nekonvenční	rozdíl
1	1,351	1,237	0,114
2	0,8498	0,7583	0,0915
3	0,6938	0,6173	0,0765
4	0,7723	0,705	0,0673
5	1,32	1,246	0,074
6	1,276	1,203	0,073
7	1,164	1,097	0,067
8	1,726	1,583	0,143
9	1,467	1,315	0,152
10	1,409	1,264	0,145
11	1,44	1,31	0,13
12	1,7	1,591	0,109
13	1,522	1,424	0,098
14	1,417	1,317	0,1
15	1,673	1,52	0,153
16	1,659	1,501	0,158
17	1,669	1,468	0,201
18	1,586	1,457	0,129
19	1,599	1,448	0,151
20	1,204	1,132	0,072
21	1,023	0,9584	0,0646
22	0,9485	0,8894	0,0591
23	0,5317	0,4746	0,0571
24	0,3948	0,3454	0,0494
25	0,1185	0,1113	0,0072
26	1,145	1,047	0,098
27	1,031	0,9101	0,1209
28	0,9842	0,8621	0,1221
29	1,377	1,258	0,119
30	1,291	1,193	0,098
31	1,275	1,164	0,111
32	1,652	1,512	0,14
33	1,59	1,463	0,127
34	1,585	1,471	0,114

Ve všech zvolených 34 bodech je rozdíl deformace při použití nekonvenčního chlazení lepší, než při použití konvenčního chlazení. Deformace při použití nekonvenčního chlazení jsou lepší, i když je kratší výrobní cyklus než u konvenčního chlazení.

10.10 Ekonomické zhodnocení návrhů

Navržené vstřikovací formy jsou porovnány ekonomickou analýzou. Byly oceněny tvarové součásti (tvárník a tvárnice) vyrobené konvenční metodou a nekonvenční metodou. Cena tvarových částí vyrobených konvenční metodou pro dvounásobnou vstřikovací formu činí 104000 Kč. Cena tvarových částí vyrobených nekonvenční metodou pro dvounásobnou vstřikovací formu činí 213600 Kč.

Tvarové části vyrobené nekonvenčním způsobem jsou asi o 105 % dražší než výroba tvarových částí konvenčním způsobem. Výroba tvarových částí nekonvenční metodou umožňovala výrobu temperančních kanálů o tvarech a průřezech, které nejsou konvenční metodou vyrobitelné. Tím bylo zajištěno rovnoměrnější a účinnější chlazení, které má vliv na kvalitu výrobku a zkrácení výrobního cyklu. Zkrácením výrobního cyklu se snižují náklady na vstřikovací stroj, pracovní sílu a ostatní náklady.

Výpočet ekonomické analýzy byl proveden v programu Microsoft Office Excel 2007. Výpočet byl proveden na základě porovnání ceny tvarových součástí a délky vstřikovacího cyklu. Protože při výrobě musí zahrnout cenu stroje, mzdu dělníka a ostatní náklady dochází při určitém počtu výrobních cyklů k vyrovnání výrobních nákladů obou návrhů. V tabulce (Tab. 5) jsou vypočtené a zvolené hodnoty nutné pro stanovení počtu cyklů.

Tab. 5. Hodnoty ekonomické analýzy

Návrh	cyklus v [s]	forma [Kč]	stroj [Kč/hod]	mzda [Kč/hod]	ostatní náklady [Kč/hod]
Konvenční	40	104000	2000	200	50
Nekonvenční	30	213600	2000	200	50

Stanovení délky vstřikovacího cyklu 40 s u konvenčního chlazení a 30 s u nekonvenčního chlazení bylo stanoveno na základě podrobnějšího prozkoumání analýz. Při použití konvenčního chlazení nastává problém s chlazením vtokového systému a výběžků na tvárníku. Použitý výpočtový program stanovil délku vstřikovacího cyklu na 62,29 s, protože do výpočtu je zahrnuto i ochlazení vtokového systému na vyhazovací teplotu. Vtokový systém nemusí být ochlazen na vyhazovací teplotu, ale musí být zajištěno jeho vyhození. Proto byla stanovena délka cyklu při použití konvenčního chlazení na 40 s. Při použití nekonvenčního chlazení stanovil výpočtový program délku vstřikovacího cyklu na

24,51 s, protože dochází k lepšímu chlazení výběžků tvárníku. Délka vstřikovacího cyklu 30 s byla zvolena z důvodu lepšího prochlazení vtokového systému.

Ocenění tvarových částí s konvenčním chlazením provedla firma Kasko – Formy spol. s r. o., která stanovila cenu tvarových částí pro dvounásobnou vstřikovací formu na 104000 Kč. Ocenění tvarových částí s nekonvenčním chlazením provedla firma Innomia a.s., která stanovila cenu tvarových částí pro dvounásobnou vstřikovací formu na 213600 Kč.

Aby mohlo být srovnání návrhů provedeno, byly zvoleny náklady na provoz vstřikovacího stroje 2000 Kč/hod, mzda dělníka 200 Kč/hod a ostatní náklady 50 Kč/hod. Všechny zvolené veličiny se mohou u jednotlivých firem lišit.

Všechny ostatní hodnoty, které jsou u obou forem totožné, nebyly uvažovány. Mezi tyto hodnoty patří např. výroba vstřikovací formy bez tvarových částí, cena materiálu výrobku atd. K výpočtu byly využity jen parametry, které jsou u obou návrhů rozdílné nebo se mění v čase.

Při výpočtu v programu Microsoft Office Excel 2007, bylo zjištěno, že ke srovnání nákladů dojde při 17536 výrobních cyklech stroje. Protože se jedná o dvounásobnou formu při 17536 výrobních cyklech bude vyrobeno 35072 výrobků. Pokud bude potřeba vyrobit méně, než 35072 výrobků ekonomicky výhodnější bude použití vstřikovací formy s konvenčním chlazením s délkou cyklu 40 s a cenou tvarových částí 104000 Kč. Pokud bude potřeba vyrobit více, než 35072 výrobků ekonomicky výhodnější bude použití vstřikovací formy s nekonvenčním chlazením s délkou cyklu 30 s a cenou tvarových částí 213600 Kč.

10.10.1 Výpočet porovnání návrhů

Celkový výpočet je proveden v programu Microsoft Office Excel 2007, výpočtový soubor je součástí přílohy (P III). Zde je pouze ověření srovnání nákladů při 17536 výrobních cyklech.

Výpočet času při použití konvenčního chlazení s délkou vstřikovacího cyklu 40 s pro 17536 vstřikovacích cyklů.

$$t_k = 17536 \cdot 40 = 701440 \text{ s} = 194,844 \text{ hod}$$

Výpočet času při použití nekonvenčního chlazení s délkou vstřikovacího cyklu 30 s pro 17536 vstřikovacích cyklů.

$$t_N = 17536 \cdot 30 = 526080 \text{ s} = 146,133 \text{ hod}$$

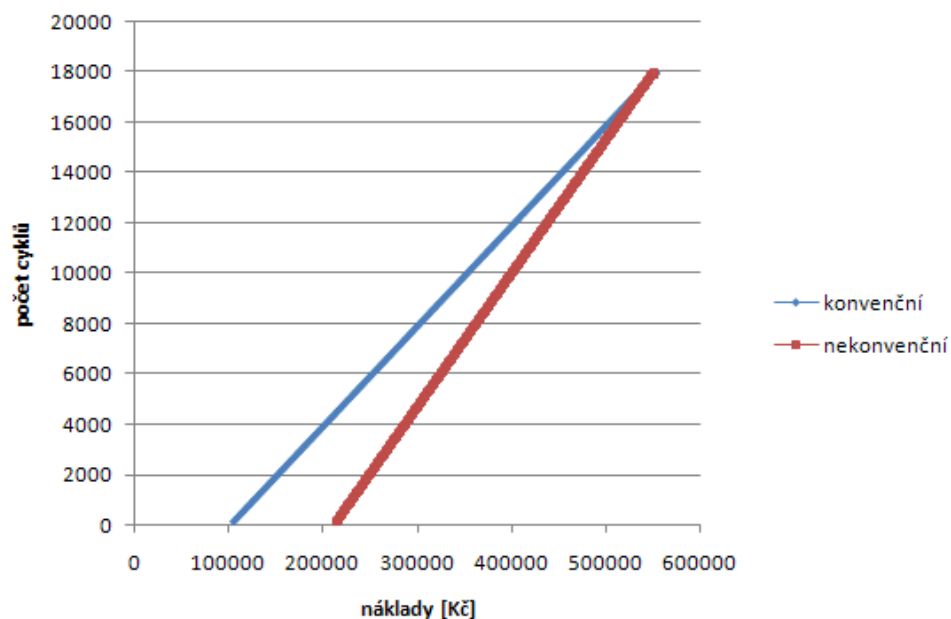
Výpočet výrobních nákladů pro 17536 výrobních cyklů při použití konvenčního chlazení a při zahrnutí nákladů na stroj (zvoleno 2000 Kč/hod), mzdu dělníka (zvoleno 200 Kč/hod) a ostatních nákladů (zvoleno 50 Kč/hod).

$$N_K = (194,844 \cdot (2000 + 200 + 50)) + 104000 = 542000 \text{ Kč}$$

Výpočet výrobních nákladů pro 17536 výrobních cyklů při použití nekonvenčního chlazení a při zahrnutí nákladů na stroj (zvoleno 2000 Kč/hod), mzda dělníka (zvoleno 200 Kč/hod) a ostatních nákladů (zvoleno 50 Kč/hod)

$$N_N = (146,133 \cdot (2000 + 200 + 50)) + 213600 = 542000 \text{ Kč}$$

V grafu na obrázku (*Obr. 54*) je vyobrazena křivka počtu cyklů v závislosti na nákladech nutných k výrobě výrobků oběma navrženými návrhy. U obou návrhů je možné odečíst náklady pro zvolený počet cyklů a naopak. V bodě, kde se konvenční a nekonvenční přímky protnou, dochází k vyrovnání výrobních nákladů u obou návrhů. Přesný výpočet je možno provést v souboru, který je součástí DVD disku v příloze (P III).



Obr. 54. Graf pro porovnání návrhů

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Byly navrženy dva návrhy vstřikovacích forem s odlišným temperačním systémem. Temperační systém obou forem se od sebe liší pouze uspořádáním temperačních kanálů ve tvárníku a tvárnici. Přívodní a odvodní temperační kanály jsou u obou navržených vstřikovacích forem totožné.

Oba návrhy byly podrobeny tokovým analýzám, abychom zjistily chování materiálu po dobu celého vstřikovacího cyklu. V obou případech dojde k úplnému zaplnění dutiny vstřikovací formy a to v čase 1,633 s u návrhu s konvenčním chlazením a 1,634 s u návrhu s nekonvenčním chlazením.

Při použití temperačního systému vyrobeného nekonvenčním způsobem bylo možné zajistit efektivnější chlazení tvárnice. U nekonvenčního temperačního systému bylo možné zajistit temperační větev, která zajišťuje chlazení vnější strany tvárnice. Vnější strana tvárnice není u temperačního systému vyrobeného konvenčním způsobem vůbec chlazená. Výroba tvárníku nekonvenční metodou umožnila výrobu temperačních kanálů po celém jeho obvodu a ve větší výšce od základny tvárníku, než temperace vyrobená konvenčním způsobem. Prochlazení horních výstupků na tvárníku není možné ani při výrobě tvárníku nekonvenčním způsobem. Tloušťka stěny tvárníku v těchto místech je malá pro zavedení temperačního kanálu při zachování tuhosti stěny tvárníku.

Odvod tepla ze vstřikovací formy zajišťují u obou návrhů tři samostatné temperační větve. Ve všech temperačních větvích je zvolen průtok temperačního média 15 l/min. Tento průtok zajišťuje turbulentní proudění ve všech částech temperačního systému. Účinnost obou návrhů temperačních systémů je přibližně 50 %, nicméně u temperačního systému vyrobeného nekonvenčním způsobem dochází k odvodu tepla větší plochou rovnoměrněji rozmístěných temperačních kanálů.

Rovnoměrnější a účinnější chlazení umožňuje zrychlení výrobního vstřikovacího cyklu. Po podrobnějším prozkoumání analýz bych stanovil délku vstřikovacího cyklu 40 s při použití konvenčního chlazení a 30 s při použití nekonvenčního chlazení. Tyto zvolené časy se musí prověřit přímo na vstřikovacím stroji, aby došlo k bezpečnému vyhození výrobků i s vtokovým systémem. Kdyby bylo nutno zajistit kratší vstřikovací cyklus, muselo by se zintenzivnit chlazení v oblasti vtokového systému.

Rovnoměrnější a účinnější chlazení má vliv na celkovou kvalitu výrobku a délku vstřikovacího cyklu. Při použití nekonvenčního chlazení vykazuje výrobek menší deformace než při použití konvenčního chlazení a to i při kratší délce výrobního cyklu.

Ekonomické zhodnocení ukázalo, že pokud budeme vyrábět méně, než 35072 výrobků bude ekonomicky výhodnější použít chlazení vyrobené konvenčním způsobem. Pokud však budeme vyrábět více, než 35072 výrobků bude ekonomicky výhodnější použít chlazení vyrobené nekonvenčním způsobem, protože umožňuje zkrácení výrobního cyklu a tím jsou nižší náklady na stroj, mzdu dělníka a nájem pracovní plochy.

Nekonvenční chlazení můžeme použít, i pokud je žádán rozměrově přesnější výrobek. Při použití nekonvenčního chlazení je deformace ve všech 38 zvolených bodech menší, než deformace v totožných 38 bodech při použití konvenčního chlazení.

Deformační analýzy, které určí, zda je forma dostatečně nadimenzována nebyly provedeny, nicméně při výrobě tvárníku a tvárnice bylo dodrženo doporučení od výrobce a to dodržení tloušťky stěny alespoň 3 až 4 mm. Pro ověření by měla být forma podrobena deformačním analýzám.

ZÁVĚR

Vstříkovací forma bude sloužit k výrobě reklamního předmětu, který slouží pro ukládání podtáček v pohostinství.

V teoretické části byla popsána problematika vstříkování, obecné zásady konstrukce výrobku, možnosti konstrukce vstříkovacích forem a byly popsány způsoby možné teploty.

V praktické části je vymodelován 3D model výrobku. Pro zadaný výrobek jsou navrženy vstříkovací formy, z nichž první vstříkovací forma má temperační systém vyroben pomocí konvenčních metod obrábění a druhá vstříkovací forma má temperační systém vyroben nekonvenční metodou obrábění tzv. metodou DMLS. Dále byly vytvořeny 3D modely obou navržených vstříkovacích forem. Vše bylo doloženo výkresovou dokumentací. Výkresová dokumentace a modely vstříkovací formy byly realizovány v programu CATIA V5R18.

Velikost, tvar a konstrukce vstříkovací formy byla závislá na rozměrech univerzálního rámu. Konstrukce vstříkovací formy do univerzálního rámu umožňovala zvolení dvounásobné vstříkovací formy se studeným vtokovým systémem. Z konstrukčních důvodů bylo zvoleno místo vtoku do pohledové strany výrobku. Aby docházelo k minimálnímu ovlivnění kvality pohledové strany, byl zvolen filmový vtok. Temperační systém spolu se zvolenou násobností formy zajišťuje rozměrovou stabilitu výrobku. Případné odzdušnění vstříkovací formy se provede po jejím odzkoušení. Po otevření vstříkovací formy v dělicí rovině je výrobek vyhozen pomocí mechanického vyhazovacího systému, kdy na každý výrobek působí tři vyhazovače. Po vyhození výrobku z dutiny vstříkovací formy musí být výrobky mechanicky odděleny od vtokového zbytku. Při konstrukci vstříkovací formy bylo využito normalizovaných dílů od firmy Hasco pokud to konstrukce umožňovala. Koncepce vstříkovací formy je navržena tak, aby byla plně automatická.

Oba návrhy vstříkovacích forem byly ověřeny tokovou analýzou v programu Autodesk Moldflow Insight 2010. Oba návrhy zajišťují dokonalé zaplnění dutiny vstříkovací formy, ale mají rozdílné vstříkovací cykly a také vliv na kvalitu výrobku.

Po vyhodnocení tokových analýz bylo zjištěno, že teplota vyrobená konvenční metodou je méně účinná než teplota vyrobená nekonvenční metodou. Použití temperačního systému vyrobeného nekonvenčním způsobem umožňuje zkrácení vstříkovacího cyklu a zajišťuje rovnoměrnější chlazení výrobku. Horní výstupky na tvárníku jsme neuchladili ani

pomocí metody DMLS, protože v tomto prostoru není možné vyrobit temperační kanál při zachování doporučené tuhosti stěny tvárníku.

Při výrobě tvarových částí byla dodržena doporučení výrobce, který doporučil minimální tloušťku stěny tvarových částí 3 až 4 mm. Pro ověření by měla být forma podrobena deformačním analýzám.

Ekonomická analýza ukázala, že při výrobě do 35072 výrobků je výhodnější použít konvenční chlazení a při výrobě nad 35072 výrobků je ekonomicky výhodnější použít nekonvenční chlazení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*, 2. vyd. Brno : UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, L a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*, 1. vyd. Brno : UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] BRUMMEL, M a kol. *Rozměrově přesné výrobky z plastů*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství úřadu pro normalizaci a měření, 1977. 238 s.
- [4] KULHÁNEK, J a kol. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 220 s.
- [5] KOLOUCH, J. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. 229 s.
- [6] MENGES, G.; MICHAELI, W.; MOHREN, P. *How to Make injection Molds*. 3rd. ed. Munich : Hanser cincinanti, 2000. 612 p. ISBN 3-446-21256-6.
- [7] B. DYM, J. *Injection Molds and molding : a Practical Manual*. 2nd ed. Central and South America : Kluwer Academic Publishers, 2001. 612 p. ISBN 0-442-21785-4.
- [8] ŠTĚPEK, J.; ZELINGER, J.; KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1989. 638 s.
- [9] KOLOUCH, J. *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1981. 260 s.
- [10] *FORMY '97 : formy pro zpracování plastů*. Brno, 22, 24.9.1997. Brno : Uniplast Brno, 1997. 200 s.
- [11] ŠTĚPEK, J. *Zpracování plastických hmot*. 2. vyd. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1991. 289 s.
- [12] REES; HERBERT *Mold engineering*, 2nd ed.; Munich: Hanser, 2002. 688 p. ISBN 3-446-21659-6
- [13] BEAUMONT; NAGEL; SHERMAN *Successfull injection molding*, 1st ed.; Munich, 2001. ISBN 3-446-19433-9

- [14] *VSTŘIKOVÁNÍ TECHNICKÝCH DÍLCŮ SE SLABÝMI STĚNAMI*, Konference s mezinárodní účastí; , Ed.; Brno, 26.9.2001.
- [15] DVOŘÁK, Z.; JAVOŘÍK, J. *Konstrukce výrobků* [online]; Zlín, 2009; pp 84–85. <http://www.ft.utb.cz/czech/uvi/czech/staff/dvorak/elektronickepodpory/podklady.html> (14.1.2010).
- [16] KNOT, J. *Konstrukce vstřikovací formy*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, 6.6.2008.
- [17] *Fakulta strojní : Strojírenská technologie* [online]. 2003 [cit. 2010-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.fs.tul.cz/old/dokumenty/uvodstroj/kap4.pdf>>.
- [18] *Advanced Plastics* [online]. 2004 [cit. 2010-01-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.advplast.cz/cze/index.html>>.
- [19] *Konformní chlazení* [online]. 2009 [cit. 2010-01-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.konformni-chlazení.cz/dmls.html>>.
- [20] *DMLS - Direct Metal Laser Sintering* [online]. 2007 [cit. 2010-01-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.dmls.cz/>>.
- [21] Hasco [online]. 2000- [cit. 2010-03-06]. Dostupný z WWW: <www.hasco.com>.
- [22] *Moldflow* [online]. 2005- [cit. 2010-03-08]. Dostupný z WWW: <www.moldflow.com/stp/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
DMLS	Direkt Metal Laser Sintering
PP	Polypropylen
Cu	Měď
S	Průřez [mm^2]
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAD	Computer Aided Design
N_K	Náklady při použití konvenčního chlazení
N_N	Náklady při použití nekonvenčního chlazení
N_N	Náklady při použití nekonvenčního chlazení
t_K	čas při použití konvenčního chlazení
t_N	čas při použití nekonvenčního chlazení

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vstřikovací cyklus [15]</i>	14
<i>Obr. 2. Schéma vstřikovacího stroje [1]</i>	16
<i>Obr. 3. Přejít v tloušťce stěny výrobku [5]</i>	23
<i>Obr. 4. Umístění vtoku do výstřiku s různou tloušťkou stěny [5]</i>	23
<i>Obr. 5. Rovnoměrnost tloušťky stěny [5]</i>	24
<i>Obr. 6. Přípustná provedení ostrých hran v dělicí rovině [5]</i>	25
<i>Obr. 7. Plný kuželový vtok [1]</i>	32
<i>Obr. 8. Způsob vyhazování vtoku a výrobku u třídeskové formy [1]</i>	32
<i>Obr. 9. Boční vtok [1]</i>	33
<i>Obr. 10. Tunelový vtok [6]</i>	35
<i>Obr. 11. Srpkovitý vtok [6]</i>	35
<i>Obr. 12. Filmový vtok [7]</i>	36
<i>Obr. 13. Diskový vtok [6]</i>	36
<i>Obr. 14. Prstencový vtok [6]</i>	37
<i>Obr. 15. Vliv rozmístění temperačních kanálů [2]</i>	39
<i>Obr. 16. Používané průřezy temperačních kanálů [2]</i>	40
<i>Obr. 17. Chlazení spirálou [6]</i>	44
<i>Obr. 18. Chlazení vrtanými kanály [6]</i>	44
<i>Obr. 19. Další možnosti chlazení plochých součástí [6]</i>	45
<i>Obr. 20. Paralelní chlazení [12]</i>	45
<i>Obr. 21. Chlazení jader pomocí vzduchu [6]</i>	46
<i>Obr. 22. Chlazení jádra pomocí Cu vložky [6]</i>	46
<i>Obr. 23. Chlazení pomocí přepážek [6]</i>	47
<i>Obr. 24. Chlazení pomocí spirálových trnů [6]</i>	47
<i>Obr. 25. Chlazení jader velkých průměrů [6]</i>	48
<i>Obr. 26. Schéma technologie DMLS [20]</i>	50
<i>Obr. 27. 3D model výrobku</i>	56
<i>Obr. 28. Vstřikovací forma</i>	58
<i>Obr. 29. Určení dělicí roviny</i>	60
<i>Obr. 30. Vtokový systém</i>	61
<i>Obr. 31. Temperační systém konvenční</i>	63

<i>Obr. 32. Chlazení tvárnice konvenční</i>	63
<i>Obr. 33. Chlazení tvárníku konvenční</i>	64
<i>Obr. 34. Temperační systém nekonvenční</i>	64
<i>Obr. 35. Chlazení tvárnice nekonvenční</i>	65
<i>Obr. 36. Chlazení tvárníku nekonvenční</i>	65
<i>Obr. 37. Odformování výrobku</i>	66
<i>Obr. 38. Vyhazovací systém</i>	67
<i>Obr. 39. Návrh 1</i>	68
<i>Obr. 40. Návrh 2</i>	68
<i>Obr. 41. Vstřikovací stroj firmy Arburg [21]</i>	69
<i>Obr. 42. Temperační jednotka</i>	70
<i>Obr. 43. Vhodnost umístění vtoku</i>	72
<i>Obr. 44. Čas plnění</i>	73
<i>Obr. 45. Účinnost odvodu tepla</i>	75
<i>Obr. 46. Účinnost odvodu tepla</i>	76
<i>Obr. 47. Ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu</i>	77
<i>Obr. 48. Ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu</i>	78
<i>Obr. 49. Teplota vtokového systému</i>	79
<i>Obr. 50. Teplota formy</i>	80
<i>Obr. 51. Teplota formy</i>	81
<i>Obr. 52. Odpočtová rovina</i>	82
<i>Obr. 53. Celková deformace</i>	83
<i>Obr. 54. Graf pro porovnání návrhů</i>	87

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Charakteristické vlastnosti polypropylenu [16]</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 2. Nastavené procesní podmínky pro analýzu C-F-P-W [22]</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 3. Chování temperačního média v temperačním systému.....</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 4. Rozdílnost deformace v jednotlivých bodech.....</i>	<i>84</i>
<i>Tab. 5. Hodnoty ekonomické analýzy</i>	<i>85</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Univerzální rám
- P II Výkresová dokumentace
- P III DVD-ROM disc

PŘÍLOHA P I: UNIVERZÁLNÍ RÁM

